

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ZKOUŠKY ROZPRAŠOVACÍCH HLAV KAPALNÝCH PALIV

TESTING OF LIQUID FUELS ATOMIZERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

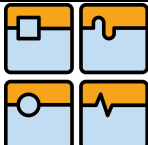
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR SUCHÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. VÍT KERMES, Ph.D.

BRNO 2010

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá zkouškami dvou rozprašovacích hlav při spalování kapalných paliv a zemního plynu. Je zde proveden jednoduchý rozbor problematiky, principů a způsobů rozprašování kapalin. Dále je zde podrobněji popsána problematika pneumatického rozprašování kapalin.

V dalších kapitolách je zpracován plán a průběh zkoušek. Z výsledků měření je vyhodnoceno celkové chování rozprašovacích hlav a plamene a jsou určeny výkonové charakteristiky atomizérů a vliv GLR na kvalitu spalování. Celkové hodnocení zkoušek je uvedeno v závěru této práce.

Abstract

This thesis is dealing with testing of two atomizers in combustion of liquid fuels and natural gas. There is a simple analysis of problems, principles and methods of atomizing liquids executed. Problem of pneumatic atomizing liquids is also described in detail.

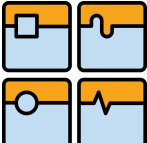
In the next chapters there is a plan and running of the testing processed. Overall behavior of the atomizers and flame is evaluated from the outcome measurement and the power characteristics of atomizers and influence of GLR on the quality of combustion are determined. Overall rating of the testing is presented in conclusion of this thesis.

Klíčová slova

rozprašování kapalin, tryska, atomizér

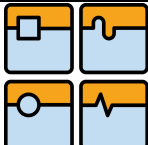
Keywords

liquid atomization, nozzle, atomizer

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Bibliografická citace

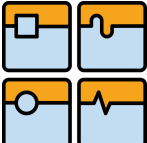
SUCHÁNEK, P. *Zkoušky rozprašovacích hlav kapalných paliv*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vít Kermes, Ph.D.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedených zdrojů informací a odborných rad vedoucího diplomové práce
Ing. Víta Kermese Ph.D.

V Brně 10.5.2010

.....

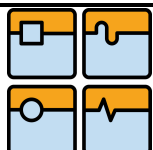
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Poděkování

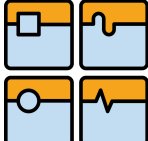
Touto formou bych rád poděkoval Ing. Vítu Kermesovi Ph.D. vedoucímu mé diplomové práce za odborné vedení, konzultace, množství technických rad a připomínek při zpracování této diplomové práce.

Obsah

1	Úvod	11
2	Paliva	13
2.1	Pevná paliva	13
2.2	Plynná paliva	14
2.3	Kapalná paliva	15
3	Rozprašování kapalin	17
3.1	Princip a základní způsoby rozprašování	17
3.2	Oblasti použití rozprašovaných kapalin	20
3.3	Vliv základních vlastností kapalin na kvalitu rozprašování	23
3.3.1	Hustota	23
3.3.2	Smykové napětí, kinematická a dynamická viskozita	24
3.3.3	Povrchové napětí	25
4	Druhy atomizérů	26
4.1	Tlakové atomizéry	26
4.1.1	Jednoduché atomizéry	27
4.1.2	Vířivé atomizéry	28
4.1.3	Duplexní atomizéry	30
4.2	Rotační atomizéry	32
4.2.1	Diskové atomizéry	33
4.2.2	Atomizéry s rychloběžným kolem	34
4.3	Pneumatické atomizéry	35
4.3.1	Atomizéry s paralelním tokem	37
4.3.2	Atomizéry s přechodovým tokem	38
4.3.3	Atomizéry s vířivým tokem	38
4.3.4	Effervescentní atomizér	38
4.4	Ostatní typy atomizérů	40
4.4.1	Akustické atomizéry	40
4.4.2	Ultrazvukové atomizéry	41
5	Základní rozdělení hořáků	42
5.1	Přívod spalovacího vzduchu	42
5.2	Spalované palivo	42
6	Zkušební zařízení	43
7	Zkoušený hořák	46
7.1	Použité palivo	47
7.2	Použité rozprašovací hlavy	48
8	Zkoušky rozprašovacích hlav	51
8.1	Popis a plán zkoušek	51
8.1.1	Cíl	51
8.1.2	Plán zkoušek	51
8.1.3	Odchyly od předpokládaného plánu experimentu	53
8.2	Zkoušky	54

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

8.2.1	Effervescentní atomizér – palivo ELTO	54
8.2.2	Atomizér TTO – palivo ELTO.....	58
8.2.3	Atomizér TTO – palivo LCO.....	62
8.2.4	Effervescentní atomizér – palivo ŘO	62
9	Závěr	67
	Seznam použité literatury.....	68
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	69
	Seznam příloh	70

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 Úvod

Stav poznání

Proces rozprašování kapalin byl z historického hlediska původně úzce spjat se zpracováním ropy a s jeho používáním se začalo již před více než 100 lety. S velmi rychlým vývojem průmyslu se rozprašování kapalin začínalo postupně prosazovat i v jeho ostatních odvětvích. V dnešní době je využíváno prakticky ve všech oblastech lidské činnosti. V běžném životě se s kapalinou ve formě spreje můžeme setkat při aplikaci různých čistících a kosmetických přípravků, při zavlažování rostlin, jsou důležitou součástí automobilů, myček nádobí a dalších zařízení.

V průmyslu nachází rozprašovaná kapalina uplatnění především v energetice (výroba páry, chlazení, spalování kapalných paliv atd.), strojírenství (odstraňování nečistot a koroze, nanášení barev, mazání strojních součástí olejovou mlhou atd.), automobilním a leteckém průmyslu (součást vstřikovacích jednotek pístových a raketových motorů), chemickém a farmaceutickém průmyslu a lékařství, v různých hasících systémech a zařízeních. Ve velké míře se používá v zemědělství při chemické ochraně a zavlažování rostlin.

Každá z výše uvedených oblastí použití má jiné nároky na způsob, kvalitu rozprašování, použitou kapalinu a její chemické a fyzikální vlastnosti. Z těchto důvodů byly vyvíjeny různé způsoby rozprašování (tlakové, rotační, pneumatické atd.). Díky rozsáhlé oblasti použití existuje mnoho typů atomizérů, které se většinou liší v energii, která byla použita k rozprašení kapaliny.

Úvodní rozbor práce

Tato práce se zabývá problematikou pneumatického rozprašování a spalování kapalných paliv (extra lehký topný olej, lehký cyklový olej a řepkový olej) při použití dvou pneumatických rozprašovacích hlav různých konstrukcí. Součástí práce jsou praktické zkoušky v Těžké laboratoři Ústavu procesního a ekologického inženýrství FSI VUT v Brně.

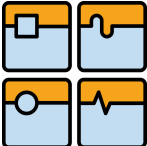
Teoretickou část práce tvoří popis paliv používaných v průmyslu, základní vlastnosti kapalných paliv, které mají vliv na kvalitu rozprašování. Dále jsou zde jednoduše popsány způsoby rozprašování a typy používaných atomizérů.

Praktická část práce se zabývá chováním rozprašovacích hlav a plamene při spalování kapalných paliv a zemního plynu. Jsou zde popsány použité atomizéry, laboratoř (hořák, spalovací komora, pomocná zařízení), paliva.

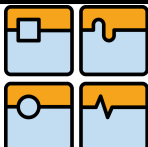
Cíle

Cílem práce je z naměřených dat při jednotlivých zkouškách určit výkonové charakteristiky atomizérů a vliv GLR na kvalitu spalování. V závěru je hodnoceno chování atomizérů při spalování. Jsou vyhodnoceny charakteristiky, naměřená data a vizuální pozorování plamene.

Vzhledem ke skutečnosti, že počítačové simulace spalování nejsou schopny postihnout chování spalovacího zařízení do všech důsledků, jsou zkoušky hořáků důležitou součástí při návrhu nových nebo úpravách používaných hořáků a atomizérů. Velký vliv na kvalitu spalování kapalných paliv, účinnost spalovacího zařízení a tvorbu emisí mají tlakové poměry v přívodu paliva, přebytek spalovacího

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

vzduchu, druh, chemické složení a fyzikálně chemické vlastnosti použitého paliva, samozřejmě i kvalitní atomizace a jiné.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2 Paliva

Paliva jsou látky, které za přítomnosti zdroje iniciace prochází chemickou reakcí s oxidačním činidlem (obvykle kyslík ve vzduchu) a uvolňují teplo. Tato chemická reakce se nazývá spalování (proces rychlé oxidace, kterým se uvolňuje chemická energie vázaná v palivu na energii tepelnou). Po chemické stránce se paliva skládají ze sloučenin obsahujících především C, H, S, N případně dalších prvků. Vlastnosti jednotlivých paliv pak závisí na konkrétních sloučeninách výše uvedených prvků. [4]

Obecně lze paliva dělit na:

- fosilní paliva (neobnovitelné zdroje)
- paliva z obnovitelných zdrojů

Dále je možné je dělit podle skupenství, ve kterém se vyskytují na:

- pevná
- plynná
- kapalná

Při volbě paliva je nezbytné brát v úvahu následující charakteristické rysy:

- spalné teplo
- výhřevnost
- chemické složení a z něj plynoucí fyzikálně chemické vlastnosti
- minimální množství chemických nebo mechanických škodlivých látek uvolňovaných během spalování (saze, popel, CO, NO, NO₂, SO₂)
- cena
- dostupnost

2.1 Pevná paliva

Přírozně se vyskytující pevná paliva jsou dřevo a další formy biomasy, hnědé a černé uhlí, rašelina, antracit. Kromě uhlíku, vodíku obsahují pevná paliva významné množství kyslíku, síry a dusíku. Mezi tento druh paliv lze počítat i různé kaly z čistíren odpadních vod nebo chemické výroby. U spalování těchto druhů paliv jsou hořáky na kapalná nebo plynná paliva používány většinou jako hořáky zapalovací nebo stabilizační.

V průmyslových odvětvích kromě energetiky (výroba elektrické energie a teplárenství) a zpracování kovů nejsou pevná paliva příliš rozšířena. [4]

2.2 Plynná paliva

Tato paliva jsou relativně čistá ve srovnání s kapalnými a pevnými palivy. Lze je také vyrábět z ropy, uhlí nebo biomasy. [7]

Zemní plyn

Nachází se často v blízkosti ložisek ropy nebo černého uhlí. Jeho hlavní složkou je methan, ethan, propan, butan a pentan. Obsah síry a dusíku je v něm zanedbatelný. Díky vysokému obsahu methanu má v porovnání s jinými fosilními palivy při spalování nejmenší tvorbu CO₂. Využívá se prakticky ve všech odvětvích průmyslu a v domácnostech.

Zkapalněný zemní plyn

LNG – Liquefied Natural Gas – zkapalnění zemního plynu při ochlazení na teplotu přibližně -160 °C při atmosférickém tlaku.

Zkapalněný ropný plyn

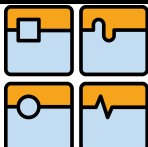
LPG – Liquefied Petroleum Gas – zkapalněná směs propanu a butanu.

Bioplyn

Je to směs plynů, kde hlavní část tvoří methan (CH₄) a oxid uhličitý (CO₂). Vzniká mikrobiálním rozkladem organické hmoty bez přístupu vzduchu (tzv. anaerobní fermentací) v bioplynových stanicích. Hlavní výhřevnou složkou je methan. V závislosti na původu bioplynu (druh organického odpadu, ze kterého vznikl) může obsahovat i různé nežádoucí sloučeniny, které mohou ovlivňovat životnost výrobních zařízení.

Palivo		Hustota	Výhřevnost	Spalné teplo	Zápalná teplota
		kg/m ³	MJ/m ³	MJ/kg	°C
Zemní plyn		0,69	34	37,8	650
LPG	propan	505	46,3	95,5	510
	butan	580	45,9	125,7	490
LNG		0,41	35	40	540
Bioplyn		1,2	21	21	cca 700

Tab. 1 Některé vlastnosti vybraných plynných paliv

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.3 Kapalná paliva

Kapalná fosilní paliva

Vyrábí se především z ropy (rafinace, destilace). Mezi nejčastěji používaná paliva patří benzín, nafta, lehké (LTO), extra lehké (ELTO) a těžké (TTO) topné oleje. Ropa a z ní vyráběná paliva obsahují určité množství síry, dusíku, kyslíku, stopových kovů a minerálů. Velkou nevýhodou těchto paliv je právě chemicky vázaná síra (především v TTO) a dusík, které při spalování těchto paliv způsobují tvorbu oxidů síry a zvýšené emise oxidů dusíku. [8]

Kapalná biopaliva

V dnešní době je kladen důraz na životní prostředí (snižování emisí skleníkových plynů) a z tohoto důvodu směřuje výzkum k využívání kapalných paliv rostlinného původu. Jejich výhodou je pěstování a sklizení v krátkodobém časovém měřítku. Nevýhodou je změna využití a rozšiřování zemědělských ploch (to naopak může mít negativní vliv na životní prostředí, jak ukazují některé výzkumy). Zároveň je potřeba se vypořádat s jejich rozdílnými fyzikálně chemickými vlastnostmi oproti kapalným palivům z neobnovitelných zdrojů.

Bioethanol

Vyrábí se destilací z kukuřice, pšenice, brambor, cukrové třtiny a cukrové řepy. V současné době je hlavně využíván jako přísada do fosilních kapalných paliv. Výroba bioethanolu je energeticky náročný proces.

Řepkový olej

Řepkový olej se vyrábí lisováním semen řepky olejky. Toto palivo má vyšší viskozitu než nafta, a proto je potřeba ji před spalováním snížit, to lze 2 způsoby:

- chemicky – výroba MEŘO
- tepelně – zahřátím na vyšší teplotu

Obecně jsou rostlinné oleje, z hlediska nízké potřeby energie na jejich výrobu, výhodnější než ostatní druhy kapalných biopaliv.

Methylestery Řepkového Oleje (MEŘO)

Vyrábí se esterifikací (rafinační proces) řepkového oleje a s následným přimícháváním methanolu. Využívá se jako přísada do motorové nafty.

Palivo	Hustota	Viskozita	Výhřevnost	Spalné teplo	Bod vzplanutí
	kg/m ³	mm ² /s	MJ/kg	MJ/kg	°C
ELTO	max. 860	max. 6 při 20 °C	42	45,1	56
LTO	max. 910	max. 18 při 40 °C	41	44	66
TTO	cca 990	max. 118 při 80 °C	39	43	110
Bioethanol	cca 791	cca 1,5 při 20 °C	30	23	11
Řepkový olej	cca 915	cca 13,5 při 60 °C	37,8	40,5	135
MEŘO	cca 900	max. 5 při 40 °C	37	39	min. 110

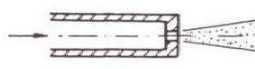
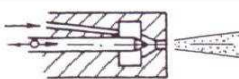
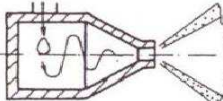
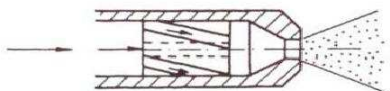
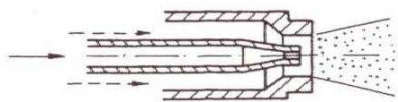
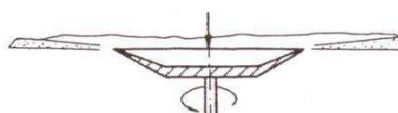
Tab. 2 Některé vlastnosti vybraných kapalných paliv

3 Rozprašování kapalin

3.1 Princip a základní způsoby rozprašování

Atomizace (rozprašování) je rozpad kapaliny do kapek. Přeměna velkého množství kapaliny na aerosol je součástí mnoha průmyslových procesů. Jako příklady lze uvést chemický a farmaceutický průmysl, zemědělství, spalování, požární ochrana a další. Atomizace lze dosáhnout několika způsoby, základní rozdělení je podle druhu energie potřebné k rozprašování:

- tlaková atomizace – využití kinetické energie kapaliny
- pneumatická atomizace – využití rychlosti proudícího plynu (u spalování vzduchu nebo páry)
- rotační atomizace – využitím mechanické energie rotující součásti
- elektrostatická, ultrazvuková, akustická atomizace – využití vibrační, elektrické energie

Tlakové rozprašování	
	
	
	
Pneumatické rozprašování	
Mechanické rozprašování	
Vibrační, elektrická energie, atd.	akustické, ultrazvukové, elektrostatické a další atomizéry

Obr. 3.1 Základní rozdělení atomizace (Bayvel [2])

Jelikož atomizace je náhodný proces, je výsledné rozprášení charakterizováno širokým spektrem velikostí kapek, při různých způsobech atomizace. Existuje mnoho základních procesů spojených se všemi způsoby atomizace jako např. hydraulika proudění v atomizéru (ovlivňuje turbulentní proudění kapaliny).

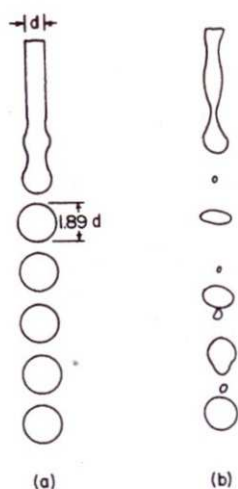
Rozvoj proudu nebo listu kapaliny a vznik malých poruch v kapalině vedou k jejímu rozpadu do vláken. Dalším šířením poruch se proud kapaliny rozpadá do kapek. Rozpad kapaliny významně ovlivňuje její hustota, viskozita, povrchové napětí, rychlost proudění atd.

Nejjednodušší rozpad proudu kapaliny je při jeho výstupu z kruhového otvoru, kde hlavní složka rychlosti je v axiálním směru proudu a kapalina je v laminárním proudění. Plně turbulentní proud se může rozpadat bez jakéhokoliv použití vnější síly. Když nejsou radiální složky rychlosti omezeny otvorem v trysce, jsou omezeny pouze povrchovým napětím a proud kapaliny se rozpadá, když napětí překoná povrchové síly.

Viskozita má význam při potlačení růstu nestability a obecně ovlivňuje zpoždění rozpadu kapaliny. To způsobuje, že se atomizace projeví ve větší vzdálenosti od trysky po proudu kapaliny, v oblastech s nižší relativní rychlostí (tvorba větších kapek). V mnoha případech má na atomizaci vliv turbulence v kapalině, kavitace v trysce a aerodynamická interakce s okolním plynem.

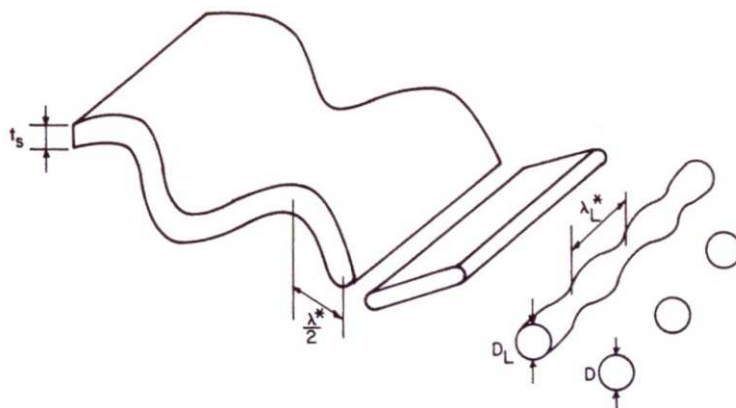
Mnoho aplikací vyžaduje kónické nebo ploché tvary rozprášené kapaliny, pro dosažení požadovaného rozptylu kapek. Kónické tvary rozprášené kapaliny lze dosáhnout pomocí vířivých atomizérů a ploché průchodem kapaliny přes úzký otvor v trysce nebo pomocí rotačních atomizérů.

Bez ohledu na tvorbu listu, jsou jeho hydrodynamické nestability šířeny aerodynamickými poruchami, tak jak se list kapaliny rozšiřuje od trysky a jeho tloušťka klesá, tvoří se v něm perforace, které se šíří směrem k sobě. Při jejich splynutí se tvoří vlákna kapaliny. Ty se vzájemně liší v průměru a při rozpadu na jednotlivé kapky ovlivňují jejich velikost. Výsledná velikost kapek závisí na původní tloušťce listu kapaliny, jeho rychlosti vzhledem k okolnímu plynu a fyzikálních vlastnostech kapaliny.



Obr. 3.2 Porovnání rozpadu proudu kapaliny (Lefebvre [1])
a) ideální kapalina, b) skutečná kapalina

Pohybující se list kapaliny se při vysoké rychlosti může rozpadat i při neexistenci perforací v kapalině pokud se list začne vlnit, přičemž hřebeny vln vytvořených aerodynamickou interakcí s okolním plynem jsou roztrhány a list kapaliny se rozpadá.



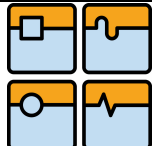
Obr. 3.3 Ideální rozpad vlnícího se listu kapaliny (Lefebvre [1])

Dalším možným způsobem rozpadu kapaliny je její rozpad v těsné blízkosti trysky, což je způsobeno velkou rychlostí vstřikované kapaliny (vysoké vstřikovací tlaky). U pneumického rozprašování je vysoké relativní rychlosti dosaženo tím, že se pomalu pohybující proud kapaliny vystaví vysoké rychlosti proudu plynu.

Kapalina může mít různý výsledný tvar rozprášení a velikost kapek. Některé poznatky o rozložení velikosti kapek jsou prospěšné při hodnocení procesu atomizace (např. při výpočtech tepla mezi rozptýlenou kapalinou a okolním plynem).

V současnosti neexistuje žádná ucelená teorie, která by popisovala hydrodynamické a aerodynamické procesy při atomizaci. Existují pouze různé odhady pro rozpad, velikost a tvar kapek. Vlastní rozpad kapaliny je ovlivněn použitím energie potřebné k atomizaci.

Většina průmyslových oblastí má různé nároky na atomizaci kapalin, a z tohoto důvodu se v každém odvětví používá způsob atomizace a druh atomizéru, který dostatečně splňuje potřebné nároky na výslednou kvalitu atomizace a všechny další kladené požadavky. [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.2 Oblasti použití rozprašovaných kapalin

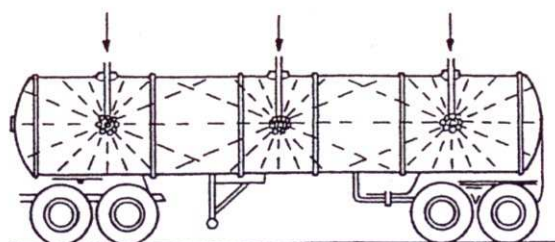
Rozprašování kapalin se využívá prakticky ve všech odvětvích průmyslu, své uplatnění nachází také v zemědělství, dopravě a samozřejmě v domácnostech.

Energetika

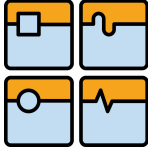
V energetice je rozprašování kapalin využito hlavně při procesu spalování, výrobě páry, čištění technologických zařízení, úpravy vody, snižování emisí ve spalínách (vstřikováním vody nebo páry) a v mnoha dalších.

Strojírenství

Zde se využívá hlavně při mazání strojů a dopravníků olejovou mlhou. Je to velmi efektivní metoda mazání používaná ve strojírenství od roku 1950. Dále se využívá pro rozprašování tekutého kovu, nástřiku barev, odstraňování nečistot a koroze, mytí, čištění a chlazení různých strojů a zařízení. [2]

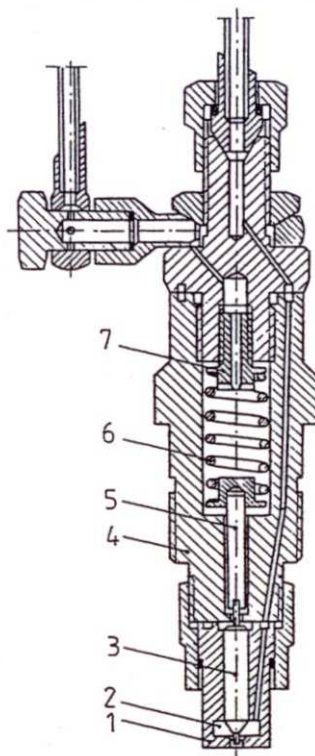


Obr. 3.4 Čištění nádrží (Bayvel [2])

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

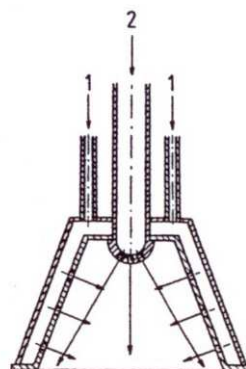
Doprava

Atomizace je velmi důležitou součástí vstřikovacích jednotek pístových, raketových a proudových motorů. U pístových motorů se využívají trysky s přerušovaným provozem, kterými se dodává dostatečné množství paliva do spalovací komory motorů. U raketových a proudových motorů se používají trysky s nepřetržitým provozem. [2]



Obr. 3.5 Vstřikovač pístového motoru (Bayvel [2])

- 1. atomizér, 2. vstřikovací komora, 3. jehla,
- 4. tělo, 5. táhlo, 6. pružina, 7. stavěcí šroub

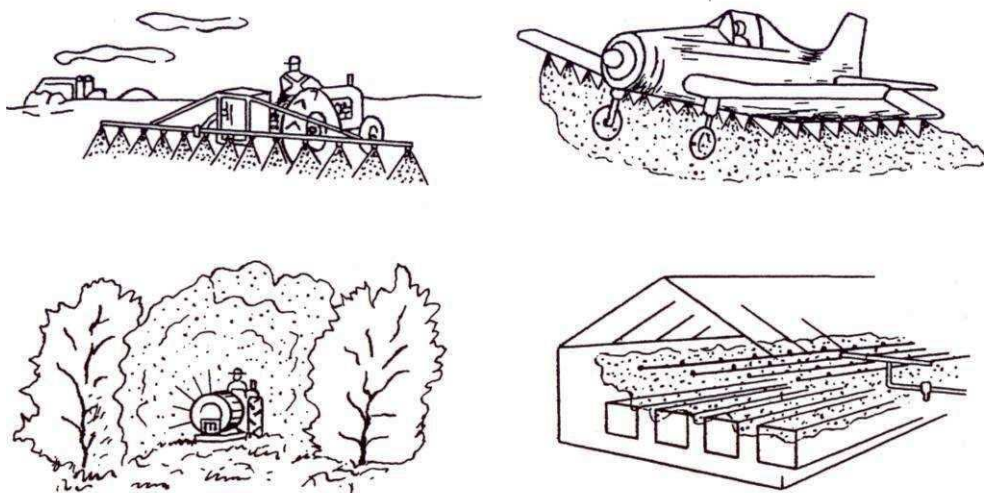


Obr. 3.6 Schéma spalovací komory raketového motoru (Bayvel [2])

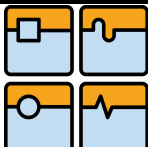
- 1. palivo, 2. okysličovadlo

Zemědělství

Použití rozprašované kapaliny má v zemědělství a lesním průmyslu značné využití. Využívá se především při chemické ochraně rostlin, hnojení a zavlažování půdy. Chemické prostředky jsou používány především ve formě vodních nebo olejových roztoků, z tohoto důvodu je využití rozprašování nezbytné. Kapalina se ve formě aerosolu mnohem lépe aplikuje na povrch rostliny. Aplikace kapaliny je možná pomocí letadel (aplikace chemikálií na rozlehlé oblasti), různých postřikovacích zařízení (obvykle ve spojení s jinou zemědělskou technikou) nebo systému potrubí a atomizérů např. ve sklenících. [2]



Obr. 3.7 Využití rozprašování v zemědělství (Bayvel [2])

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.3 Vliv základních vlastností kapalin na kvalitu rozprašování

Při spalování je potřeba kvalitní atomizace, aby docházelo k odpaření všeho paliva v oblastech plamene a kvalitnímu promíchání s okysličovadlem, a tím k dokonalému spálení. Při nedokonalé atomizaci nedochází k úplnému odpaření paliva, spalování nedostatečně odpařeného paliva není úplné a nespálené palivo se usazuje na dně spalovací komory. Nedokonalé spalování má vliv na tvorbu škodlivých látek (CO , C_xH_y).

Na kvalitu rozprašování mají ze všech fyzikálních vlastností kapalin vliv především tři z nich [1], [2]:

- hustota
- viskozita
- povrchové napětí

3.3.1 Hustota

Šob [5] popisuje hustotu ρ jako: „Poměr elementární hmotnosti dm a objemu dV za předpokladu, že hmota kapaliny je v prostoru rozložená kontinuálně.

$$\rho = \frac{dm}{dV} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (3.1)$$

Hustota závisí obecně na teplotě a tlaku. Při rostoucí teplotě se zvětšuje objem, proto hustota klesá. Naopak s rostoucím tlakem se zmenšuje objem a hustota tedy roste. Vliv tlakových změn je ve většině praktických úloh zanedbatelný.“

Vliv hustoty na atomizaci

Dle Lefebvre [1], má hustota pozitivní vliv na atomizaci, kdy se s vyšší kinetickou energií tvoří menší kapky. Hustota kapaliny však musí být zohledněna při konstrukci atomizérů, a to především pneumatických. Musí být garantováno, že nebude docházet k oddělení kapaliny a plynu (rozsazování) v těle atomizéru.

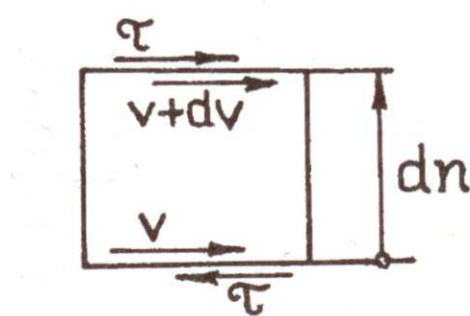
3.3.2 Smykové napětí, kinematická a dynamická viskozita

Smykové napětí

Šob [5] definuje smykové napětí jako: „Obecná síla dF působící na plochu dS má tečnou složku síly dF_t , která vyvolává tečné napětí, způsobující v kapalině posun částic. Podle Newtonova zákona platí pro tečné napětí na stěně elementárního hranolku o výšce dn vztah:

$$\tau = \frac{dF_t}{dS} = \eta \cdot \frac{dv}{dn} \quad [N \cdot m^{-2}] \quad (3.2)$$

kde η je dynamická viskozita [Pa.s] a dv/dn je smyková rychlost [s^{-1}].”



Obr. 3.8 Smykové napětí na stěnách elementárního hranolku kapaliny (Šob [5])

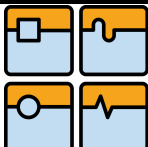
Viskozita

Medek [6] definuje viskozitu jako: „Schopnost reálné tekutiny klást odpor proti pohybu elementárních částic. Viskozita je způsobena soudržností elementárních částic (převládá u kapalin) a výměnou hybností elementárních částic mezi vrstvami (převládá u plynů). Pro newtonské kapaliny je viskozita látkovou konstantou, která souvisí s molekulární strukturou. Závisí však na tlaku a teplotě.“

Dynamická viskozita

Šob [5] o dynamické viskozitě říká: „Je obecně závislá na stavových veličinách tlaku a teplotě kapaliny, s rostoucí teplotou klesá a závislost na tlaku je zanedbatelná. Je definována poměrem smykového napětí a smykové rychlosti. Hodnoty dynamické viskozity různých tekutin při různých podmínkách lze nalézt v tabulkách. Pokud je $\eta = konst.$ tzn., že se nemění v závislosti na smykovém napětí, jedná se o newtonské kapaliny. Pokud je $\eta = f(\tau, dv/dn)$ tzn., je funkcí smykového napětí a smykové rychlosti jedná se o nenewtonské kapaliny.“ Je dána vztahem:

$$\eta = \frac{\tau}{dv/dn} \quad [Pa \cdot s] \quad (3.3)$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Kinematická viskozita

Je uměle zavedená fyzikální veličina, je výhodnější pro některé výpočty. Je rovna podílu dynamické viskozity η a hustoty ρ kapaliny. [5]

$$v = \frac{\eta}{\rho} \quad [m^2 \cdot s^{-1}] \quad (3.4)$$

Vliv viskozity na atomizaci

Dle Lefebvre [1] viskozita kapalin ovlivňuje kvalitu atomizace, přívod kapaliny potrubím (vysoká viskozita snižuje rychlost toku a je potřeba vyšší energie dodané kapalině). Dále ovlivňuje rozprašovací úhel na výstupu z trysky, velikost kapek (vyšší viskozita má za následek tvorbu větších kapek). Obecně lze říct, že zvyšující se viskozita má trvale nepříznivý efekt na kvalitu atomizace. Viskozita je závislá na teplotě kapaliny, proto je potřeba kapalinu s vyšší viskozitou předehtřívát na teplotu, která nám zajistí kvalitní atomizaci.

3.3.3 Povrchové napětí

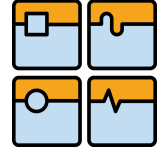
Medek [6] uvádí: „Povrchové napětí σ [$N \cdot m^{-1}$] je definováno buď jako síla působící kolmo k jednotce délky povrchu kapaliny (3.5) nebo jako energie potřebná na zvětšení povrchu o jednotku [$J \cdot m^{-2}$] (3.6). Je to v podstatě síla, která brání zvětšování povrchu kapaliny. Abychom tuto sílu překonali, musíme dodat práci, která je dána součinem zvětšení povrchu a povrchového napětí.“

$$\sigma = \frac{dF_t}{dl} \quad [N \cdot m^{-1}] \quad (3.5)$$

$$\sigma = \frac{W_{vm}}{S_r} \quad [J \cdot m^{-1}] \quad (3.6)$$

Vliv povrchového napětí na atomizaci

Povrchové napětí ovlivňuje rozpad kapaliny na kapky. U kapalin s vyšším povrchovým napětím je potřeba působení větší energie k tomu, aby byla překonána síla, která zabraňuje dělení kapaliny. Vyšší povrchové napětí způsobuje rozpad kapaliny na kapky s větším průměrem. U kapalin s menším povrchovým napětím je k překonání této síly potřeba podstatně menší energie a kapky mají menší průměr.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4 Druhy atomizérů

Základní druhy atomizérů se dělí podle principů rozprašování, které jsou uvedeny na obr. 3.1. Existuje velké množství různých druhů atomizérů. Jejich provoz vyžaduje velké množství pomocných zařízení jako jsou čerpadla, kompresory, různé druhy měřících přístrojů (tlakoměry, průtokoměry, teploměry atd.), regulační armatury, filtry a další přístroje. [1], [2]

Ideální atomizér by měl mít následující charakteristické rysy:

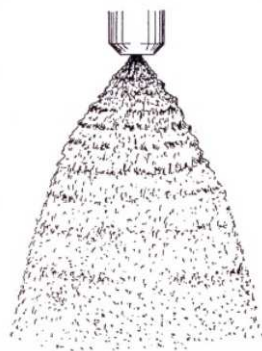
- schopnost poskytovat dobré rozprášení v širokém rozsahu průtoků kapalin
- rychlou reakci na změnu průtokové rychlosti
- neměl by reagovat na nestability průtoků
- nízké nároky na energii potřebnou pro rozprašování
- nízká cena, hmotnost, snadná údržba a opravy

Atomizéry používané při rozprašování a spalování kapalných paliv by měli mít kromě výše uvedených vlastností i následující:

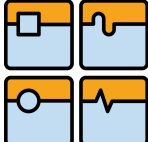
- minimální tvorbu usazenin v trysce při spalování
- nízkou citlivost na znečisťující látky

4.1 Tlakové atomizéry

Patří mezi nejčastěji využívané způsoby rozprašování. Využívá především tlakové energie kapaliny (tlak kapaliny může být v řádu několika desítek barů), která se na výstupu atomizéru mění na kinetickou energii, a to vede k dosažení vysoké relativní rychlosti mezi kapalinou a okolním plynem. Výsledkem toho je rozprášení kapaliny. Tyto druhy atomizérů jsou jednoduché, nepotřebují přívod pomocných médií. Nejsou vhodné pro rozprašování velmi viskózních kapalin a kvalita jejich rozprášení klesá s rostoucím průtokem. Hlavní nevýhodou je vysoký tlak nutný k rozprášení. [2]



Obr. 4.1 Tlakové rozprašování (Bayvel [2])

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

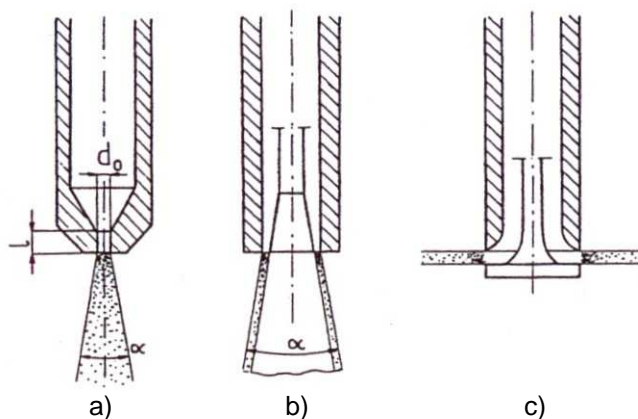
4.1.1 Jednoduché atomizéry

Atomizéry s jednoduchou tryskou

Jedná se o jednoduchou konstrukci atomizéru ukončenou otvorem (cylindrická tryska), jehož prostřednictvím vystupuje kapalina ve formě paprsku (obr. 4.2 a)). Hlavní nevýhodou tohoto typu atomizéru je malý rozprašovací úhel a obtížný rozpad kapaliny.

Na obr. 4.2 b) je znázorněna prstencová tryska, výhodou této trysky je jednodušší rozpad kapaliny než u cylindrické trysky, díky průchodu kapaliny úzkým otvorem. Nevýhodou tohoto atomizéru je riziko snadného zanášení trysky.

Obr. 4.2 c) zobrazuje vypouštění kapaliny z trysky v radiálním směru, tento atomizér má vlastnosti atomizéru s jednoduchou tryskou, pokud je celý otvor zaplněn kapalinou, jinak jej lze považovat za deflekční atomizér.

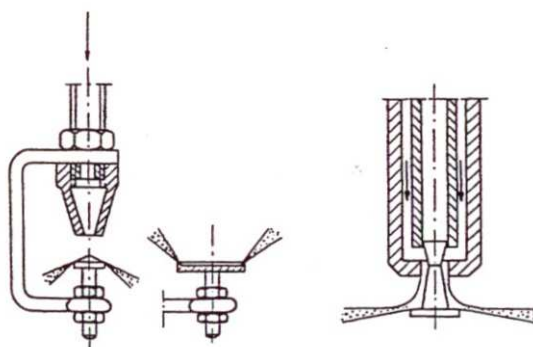


Obr. 4.2 Atomizéry s jednoduchou tryskou (Bayvel [2])
a) cylindrická tryska, b) prstencová tryska, c) radiální tryska

Atomizéry s jednoduchou tryskou mohou mít různou geometrii (tvar, průměr a úhel vyústění trysky). Tyto atomizéry se díky silnému a kompaktnímu paprsku vystupující kapaliny používají především k čištění. [2]

Deflekční atomizéry

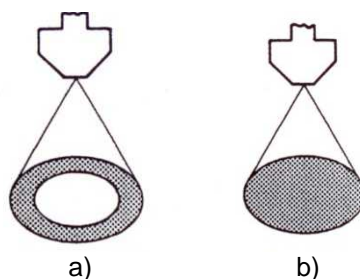
Rozprášení kapaliny se tímto atomizérem dosáhne při kontaktu proudu kapaliny s pevným objektem (deflektor) ve směru proudění kapaliny. Kapalina (proud kapaliny) naráží pod určitým úhlem vůči ose proudu do deflektoru. Tvar a charakteristika aerosolu pak závisí nejen na počátečním úhlu nárazu do deflektoru, nýbrž i na jeho celkovém tvaru. Tyto atomizéry pracují s nízkým tlakem, takže kvalitní atomizace lze dosáhnout i při nízkých rychlostech proudění. Využívají se především v různých hasících systémech, zavlažování rostlin atd. [2]



Obr. 4.3 Deflekční atomizéry (Bayvel [2])

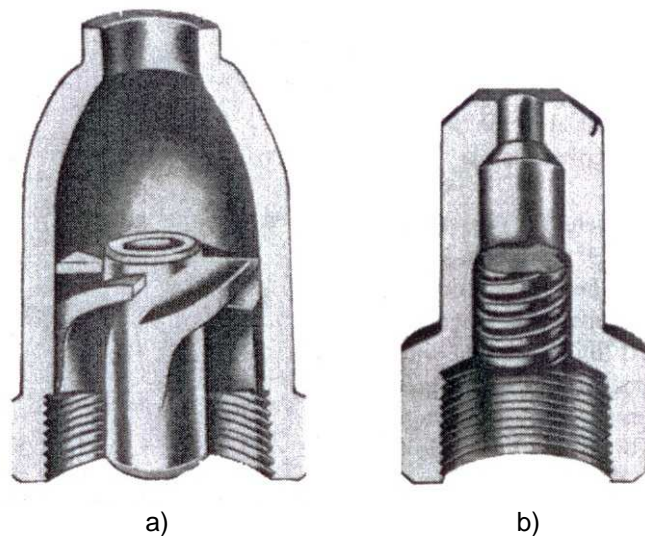
4.1.2 Vířivé atomizéry

Malý rozprašovací úhel vytvářený atomizéry s jednoduchou tryskou je nevýhodný pro většinu praktických aplikací. Mnohem větší rozprašovací úhel je dosažen ve vířivém atomizéru, ve kterém má kapalina krouživý pohyb a působením odstředivé síly při opouštění trysky vytváří kuželový tvar rozprášené kapaliny. Existují dva hlavní typy vířivých atomizérů, které vytváří dva základní tvary rozprášené kapaliny – dutý kužel (obr. 4.4 a)) a plný kužel (obr. 4.4 b)). [1]



Obr. 4.4 Tvary kužele rozprášené kapaliny (Lefebvre [1])
a) dutý kužel, b) plný kužel

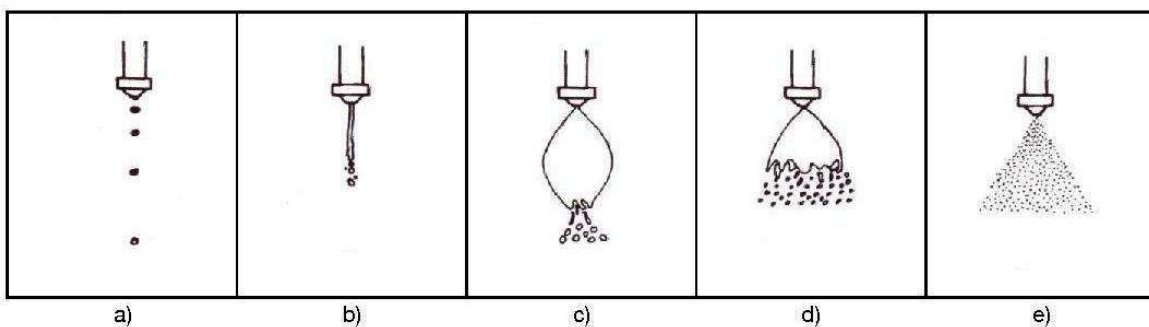
Jak je vidět na obr. 4.5 a), je v atomizéru umístěno ve směru proudu vyměnitelné vířivé tělísko. Toto tělísko vytváří v části kapaliny, která prochází jeho vnější částí (přes lopatky) krouživý pohyb. Druhá část kapaliny vstupuje válcovým otvorem ve vířivém tělísku. Na výstupu z tělíska dochází ke kontaktu těchto dvou částí kapaliny s různým pohybem a výsledkem je plný kužel rozprášené kapaliny na výstupu z atomizéru. Na obr. 4.5 b) je v atomizéru umístěno ve směru proudu vyměnitelné tělísko, na jehož obvodu je vyrobena spirálová drážka. Kapalina prochází pouze přes tuto drážku a dává kapalině krouživý pohyb. Na výstupu má kapalina díky svému pohybu tvar dutého kužele. Na obr. 4.7 je atomizér, který je kombinací výše uvedených atomizérů. Vířivé tělísko může mít různé tvary lopatek a drážek. [1]



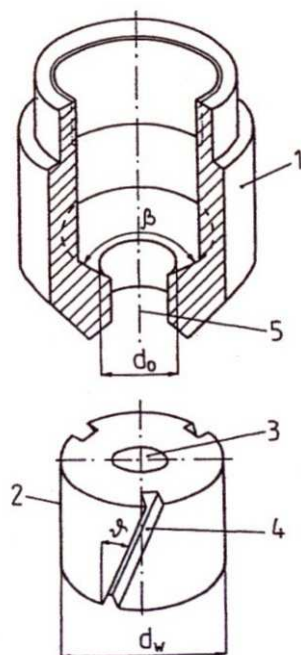
Obr. 4.5 Řez vířivými atomizéry (Lefebvre [1])
a) vytváří plný kužel, b) vytváří dutý kužel

Rozvoj rozpadu kapaliny při použití vířivých atomizérů je zobrazen v několika etapách, podle zvyšujícího se vstřikovacího tlaku (obr. 4.6) [1]:

- a) kapky
- b) tenký proud kapaliny
- c) začátek tvorby kužele – povrchové napětí drží kapalinu v uzavřeném tvaru
- d) rozpad kapaliny na větší kapky – zvyšující se tlaková energie překoná povrchové napětí
- e) povrch se narovná, tloušťka listu se snižuje, list je nestabilní a nastává rozpad do drobných kapek



Obr. 4.6 Rozpad kapaliny v závislosti na vstřikovacím tlaku kapaliny (Lefebvre [1])



Obr. 4.7 Řez atomizérem s vloženým vířičem (Bayvel [2]) – 1. tělo, 2. vířič, 3. axiální otvor, 4. drážka, 5. výstupní otvor (tryska)

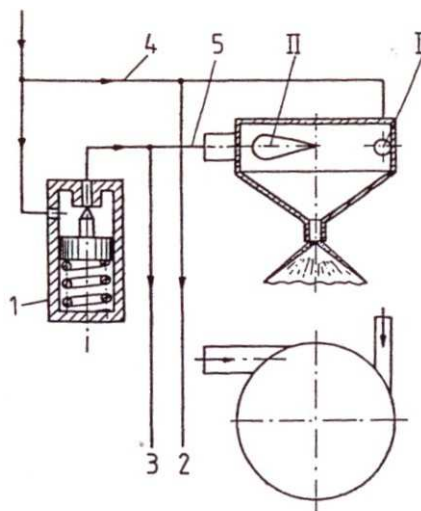
Tyto atomizéry jsou v praxi používány velmi často, díky svým výhodám oproti ostatním druhům atomizérů. Mezi jejich hlavní výhody patří:

- jednoduchá konstrukce
- vysoká spolehlivost
- dobrá kvalita rozprašování
- potřeba malé energie

Nacházejí uplatnění v protipožární ochraně, zemědělství, čištění povrchů atd. [1], [2]

4.1.3 Duplexní atomizéry

Tlak v kapalině je nepřímo úměrný rychlosti proudění kapaliny (pokud kapalina proudí rychleji má menší tlak). V duplexním atomizéru je kapalina přiváděna primárním přívodem kapaliny (4), při nízkém tlaku je ventil (1) uzavřen a kapalina vstupuje do vírové komory atomizéru. Se zvyšujícím se tlakem kapaliny a snižující se její rychlostí je ventil otevřen a kapalina začíná proudit sekundárním přívodem do vírové komory. Poklesem tlaku se zvýší rychlost proudění kapaliny v komoře. Pokles tlaku je dostatečný pro zajištění kvalitní atomizace. U těchto atomizérů lze takto dosáhnout 5 – 10 krát větší změny průtoku kapaliny. Používají se především v turbínách letadel. [2]



Obr. 4.8 Schematický diagram duplexního atomizéru (Bayvel [2])
 1. ventil, 2,3. sběrače kapaliny, 4,5. primární a sekundární přívod kapaliny

4.2 Rotační atomizéry

K rozprašování u těchto atomizérů dochází mechanickou energií dodanou rotující součástí atomizéru. Konstrukce těchto atomizérů směřuje k zajištění efektivního přenosu této energie. Rotující součást atomizéru může podle své konstrukce rotovat kolem vertikální nebo horizontální osy. [2]

Mezi hlavní výhody patří:

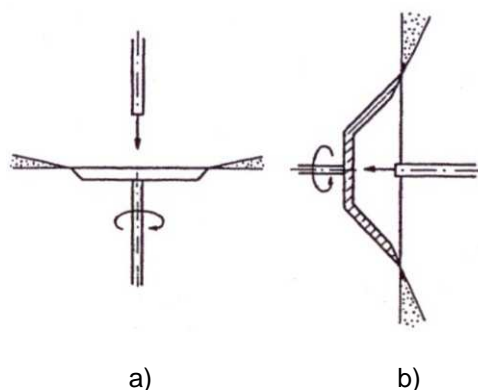
- atomizace velmi viskózních a znečištěných kapalin
- malý tlak přiváděné kapaliny
- možnost kontroly průtoku bez ovlivnění kvality atomizace
- možnost použití vysokých průtoků kapalin
- snadná údržba
- relativně nízká spotřeba elektrické energie

Mezi nevýhody patří:

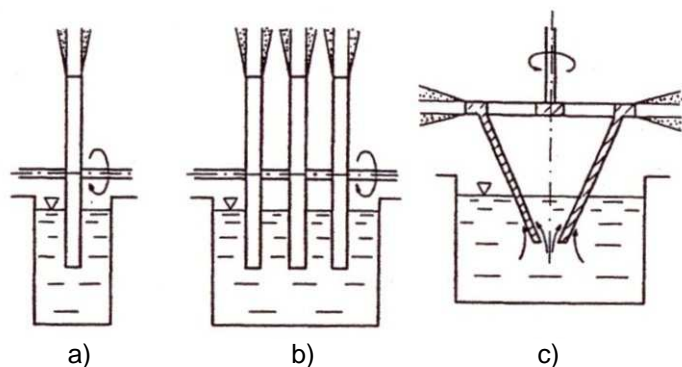
- složitá konstrukce
- potřeba vysokých otáček, které snižují spolehlivost
- lze je využít jen v určitých oblastech průmyslu

Dle způsobu přívodu kapaliny je lze dělit:

- atomizéry s přímým osově symetrickým přívodem kapalin, přívod může být gravitační (obr. 4.9 a)) nebo tlakový (obr. 4.9 b))
- atomizéry s částečně ponořeným rotujícím elementem (obr. 4.10 a), b), c))



Obr. 4.9 Osově symetrický přívod paliva (Bayvel [2])

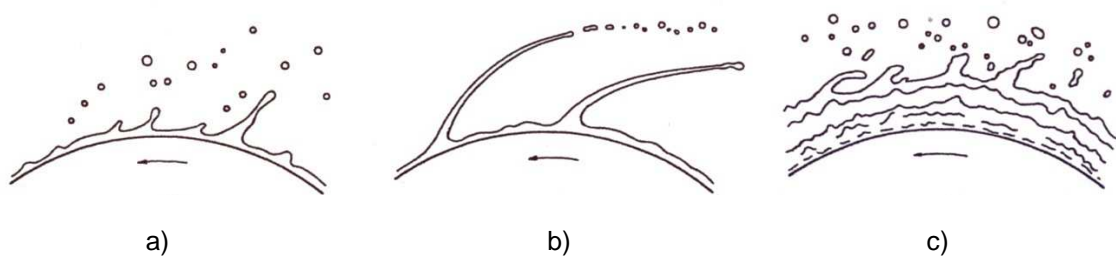


Obr. 4.10 Částečně ponořený rotující disk (Bayvel [2])

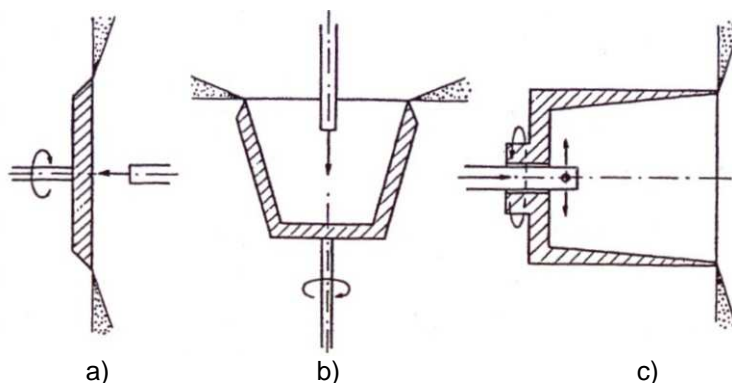
4.2.1 Diskové atomizéry

Existují různé tvary rotujících součástí diskových atomizérů – disk, miska, pohár (obr. 4.12). Hlavním rysem těchto atomizérů je hladký povrch, na kterém kapalina vytváří tenký film. Film se odděluje od okraje rotujícího prvku (pomocí odstředivé síly) a rozpadá se do kapek. V závislosti na rychlosti rotujícího prvku lze rozlišit tři režimy oddělení kapaliny od atomizéru [2]:

- oddělení kapaliny při velmi nízkých rychlostech – tvorba kapek (obr. 4.11 a))
- oddělení kapaliny ve vláknech – s rostoucím průtokem se rozpadají do kapek (obr. 4.11 b))
- oddělení kapaliny ve formě povlaku – se zvyšujícím se průtokem se dále rozpadá na kapky (obr. 4.11 c))



Obr. 4.11 Režimy oddělení kapaliny od disku (Bayvel [2])



Obr. 4.12 Tvary diskových rotačních atomizérů (Bayvel [2])
a) disk, b) miska, c) pohár

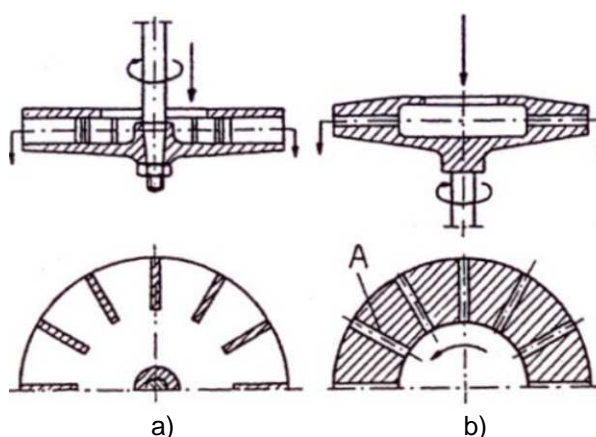
4.2.2 Atomizéry s rychloběžným kolem

Tyto atomizéry nacházejí uplatnění především v mlékárenském průmyslu, při výrobě léčiv atd. Existuje velké množství různých tvarů a konstrukcí např. [2]:

- lopatkové atomizéry
- atomizéry s radiálními kanály
- a další

Lopatkové atomizéry

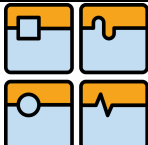
Kapalina je přiváděna ke středu rotujícího prvku, pomocí lopatek se snižuje skluz kapaliny po povrchu oběžného kola a zvyšuje rychlost proudící kapaliny od středu na okraj oběžného kola, výsledkem je kvalitnější rozprašování. Počet lopatek je v rozmezí 18 – 36. Lopatkový atomizér je na obr. 4.13 a)



Obr. 4.13 Typy odstředivých atomizérů (Bayvel [2])

Atomizéry s radiálními kanály

Pracují na podobném principu jako lopatkové atomizéry. Lopatky jsou u nich nahrazeny kanály s kruhovým průřezem o průměru 3 – 10 mm a jejich počet závisí na jejich průměru a průměru oběžného kola. Tento typ atomizéru je na obr. 4.13 b).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 35
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.3 Pneumatické atomizéry

V této části kapitoly je podrobněji popsán způsob pneumatické atomizace, protože hlavní náplní této práce jsou zkoušky pneumatických rozprašovacích hlav.

Pneumatické atomizéry využívají k rozpadu kapaliny kinetickou energii plynu (vzduch nebo pára). Jedná se o nejstarší typ atomizéru. Nacházejí uplatnění v různých oborech průmyslu zejména tam, kde je potřeba rozprašování velmi viskózních kapalin, tekutých kovů atd.

Pneumatické atomizéry jsou velmi složité co se týče popisu toku, který probíhá uvnitř atomizéru mezi médii, dochází zde k interakci kapalné a plynné fáze. Tato interakce může nastat při paralelním toku plynu a kapaliny (k interakci dochází na povrchu a kapalina se rozpadá na kapky), při přechodovém toku plynu a kapaliny (kapalina se rozpadá na kapky díky dynamickému působení plynu) nebo při vířivém toku plynu a kapaliny. Ke vzájemné interakci těchto dvou médií může docházet uvnitř nebo vně atomizéru (vnitřní a vnější míchání směsi).

Základem pneumatické atomizace je smykové napětí na rozhraní mezi kapalinou a plynem. Kapalina může mít před kontaktem s plynem různou podobu (list, kapky, tenký sloupec). Kapalina ve formě listu má větší kontaktní plochu s plynem, tím pádem dochází ke snadnému rozprašování, pokud má tvar tenkého sloupce dochází k rozpadu při relativně nízkých rychlostech. Existují dva mechanismy atomizace pomocí plynu, a to odtržením kapek z povrchu kapaliny nebo rozpadem kapaliny na hraně trysky. Pokud je kapalina ve formě kapek, nastává sekundární rozpad při působení proudění plynu. [1], [2]

Výhody pneumatického rozprašování:

- atomizace velmi viskózních kapalin (za dostatečně vysoké kinetické energie plynu), použitím přehřáté páry nebo předeřhátím kapaliny klesá její viskozita
- kvalita atomizace a rychlost proudění kapaliny je menší než u tlakových atomizérů, energie plynu může být libovolně vysoká, proto je možné dosáhnout vysokého regulačního rozsahu průtoku s dobrou kvalitou atomizace
- atomizéry mohou mít různý tvar (ploché, kónické) a různý rozprašovací úhel na trysce
- podle potřeby je k atomizaci možné použít různé plyny (argon, helium)
- se zvyšující se relativní rychlostí plynu se zvyšuje kvalita atomizace, ale nad 80 m/s je toto zlepšení méně významné
- kapalina je přiváděna nižším tlakem většími průřezy, z tohoto důvodu mají pneumatické atomizéry nižší tendenci se ucpávat

Nevýhody pneumatického rozprašování:

- potřeba zdrojů stlačeného plynu (vzduchu) nebo zdrojů páry
- vyšší spotřeba energií
- díky rozsáhlosti pomocných zařízení jsou celkové pořizovací náklady vyšší

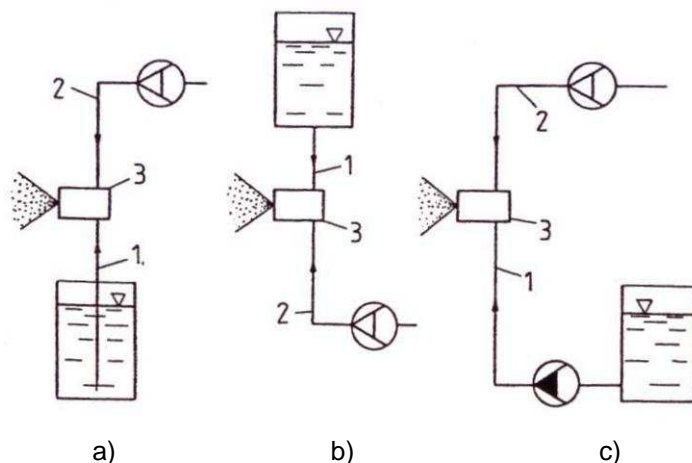
Rozdělení pneumatických atomizérů

Mohou být rozdělovány na základě:

- poklesu tlaku plynu
- místa interakce mezi kapalinou a plynem
- způsobu separace kapaliny a plynu
- směru působení plynu na kapalinu

Rozdělení podle poklesu tlaku plynu

Klasifikace pneumatických atomizérů podle poklesu tlaku plynu (atomizačního) je v zásadě nezávislá na způsobu přívodu kapaliny a tlaku kapaliny. Způsoby přívodu kapaliny jsou uvedeny na obr. 4.14.



Obr. 4.14 Způsoby přívodu kapaliny (Bayvel [2])
a) sáním, b) gravitací, c) tlakový

Tlak kapaliny v pneumatických atomizérech je velmi malý ve srovnání s tlakem kapaliny v tlakových atomizérech. Pohybuje se v rozmezí velmi nízkých tlaků (podtlak) až do tlaku cca 1 MPa. Tlak plynu se liší v závislosti na potřebách a možnostech pomocných tlakových zařízení (ventilátory, kompresory, dmychadla). Podle této klasifikace lze pneumatické atomizéry dělit na nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké.

Charakteristickým znakem definujícím kvalitu konstrukce atomizéru je množství plynu potřebné na kvalitní rozprášení jednotkového množství kapaliny tzv. GLR (Gas to Liquid Ratio). GLR lze vyjádřit jako

$$GLR = \frac{\dot{Q}_G}{\dot{Q}_L} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.1)$$

kde: GLR – Gas to Liquid Ratio – hmotnostní poměr průtoku plynu a kapaliny

\dot{Q}_G – hmotnostní průtok plynu [kg/h]

\dot{Q}_L – hmotnostní průtok kapaliny [kg/h]

a závisí na vlastnostech a tlaku kapaliny, konstrukci atomizéru a na požadované kvalitě rozprašování. Je potřeba zdůraznit, že GLR je poměr hmotnostních průtoků a nikoliv energií, a proto není jediným faktorem určujícím kvalitu rozprašování. Kvalita atomizace je určena kinetickou energií atomizačního plynu, která obecně závisí na relativní rychlosti plynu. GLR má i ekonomický význam, protože s vyšší spotřebou plynu rostou provozní a investiční náklady. [2]

Rozdělení podle místa interakce mezi kapalinou a plynem

Toto rozdělení je podle místa tvorby směsi plynu a kapaliny. K působení plynu na kapalinu může docházet v těle atomizéru před tryskou (vnitřní tvorba směsi viz obr. 4.16) nebo mimo atomizér za tryskou (vnější tvorba směsi viz obr. 4.15).

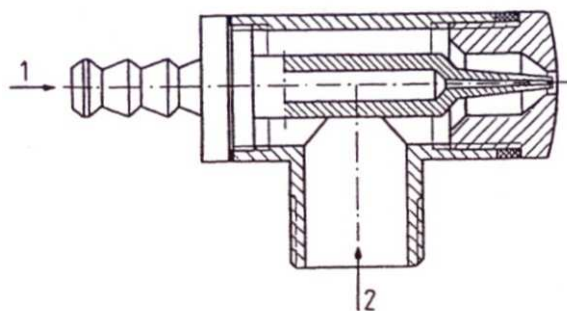
Rozdělení podle směru působení plynu na kapalinu

Jde o rozdělení z hlediska konstrukce atomizéru. Rozdělení je založeno na směru působení plynu na kapalinu a lze je dělit na atomizéry s paralelním, přechodovým nebo vírovým tokem.

Dále je možné je dělit podle konstrukce na jednotryskové a vícetryskové. Každá literatura udává jiné způsoby rozdělení atomizérů. [1], [2]

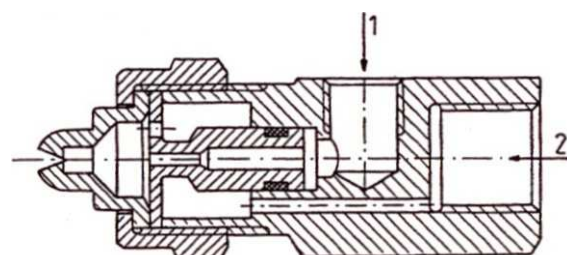
4.3.1 Atomizéry s paralelním tokem

Atomizéry se vyznačují tím, že proudění kapaliny a plynu má stejný směr.



Obr. 4.15 Atomizér s paralelním tokem a vnějším mícháním (Bayvel [2])

1. kapalina, 2. plyn

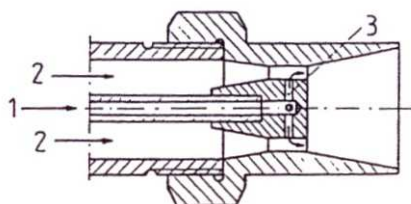


Obr. 4.16 Atomizér s paralelním tokem a vnitřním mícháním (Bayvel [2])

1. kapalina, 2. plyn

4.3.2 Atomizéry s přechodovým tokem

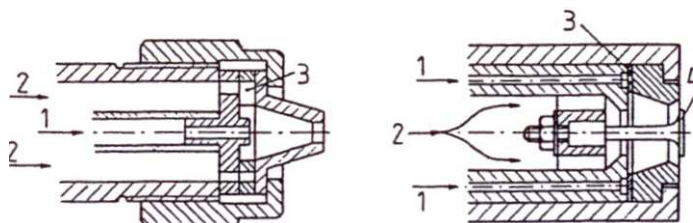
Tyto atomizéry vytvářejí tenký proud kapaliny, který vstupuje do proudu plynu pod různým úhlem, nejčastěji 90°. Působením tenkého proudu kapaliny a proudícího plynu dochází k intenzivnímu rozpadu proudu kapaliny na kapky. Čím je průměr proudu kapaliny menší, tím je kvalita rozprašování vyšší. [1], [2]



Obr. 4.17 Atomizér s přechodovým tokem a vnitřním mícháním (Bayvel [2])
1. kapalina, 2. plyn, 3. přívod kapaliny do toku plynu

4.3.3 Atomizéry s vířivým tokem

U tohoto typu atomizéru je potřeba, aby u alespoň u jednoho média (kapaliny nebo plynu) docházelo k vířivému pohybu proudu. Přivedením tenkého proudu kapaliny do vířivého proudu plynu, dochází k velmi vysoké kvalitě rozprašování. Tyto atomizéry nacházejí uplatnění při výrobě páry, v plynových turbínách. [1], [2]

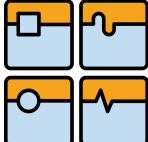


Obr. 4.18 Atomizéry s vířivým tokem – a) vířivý proud plynu, b) vířivý proud kapaliny (Bayvel [2])
1. kapalina, 2. plyn, 3. kroužek s tangenciálními otvory, 4. deflektor

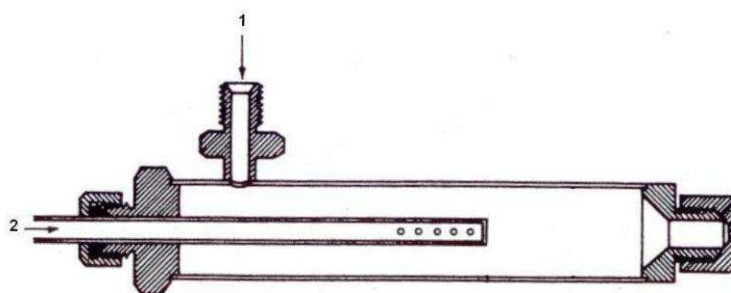
4.3.4 Effervescentní atomizér

Všechny pneumatické atomizéry, jak ke popsáno výše, používají vzduch nebo páru buď k rozšíření atomizace nebo jako hlavní hnací sílu pro atomizaci, mají jednu důležitou vlastnost společnou – převážná část kapaliny je nejprve přeměněna na úzký proud nebo film, a pak je vystavena působení vysoké rychlosti plynu. Alternativním přístupem je zavést vzduch nebo páru přímo do kapaliny v určitém okamžiku proti výstupnímu otvoru v trysce.

Jednou z takových metod je superkritické vstřikování, které je založeno na vzniku bublin rozpuštěného plynu v kapalině. Existují metody, které využívají plyn rozpuštěný v kapalině a tím významně ovlivňují rozprašování (kvalitu ovlivňuje již malé množství rozpuštěného plynu). Problém nastává s následným oddělením plynu od kapaliny, když je potřeba ho využít jako podporu při rozprašování (rozšíření nebo hlavní hnací síla atomizace). Effervescentní atomizér pracuje na podobném principu, ale nesdílí praktická omezení superkritického vstřikování. Konstrukce atomizéru je relativně jednoduchá a skládá se z trysky, přívodu kapaliny a plynu a ze směšovací komory viz obr. 4.19. Kapalina je přivedena přívodem pomocí malých otvorů (může

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

jich být několik desítek) do směšovací komory. Plyn je přiváděn nízkou rychlostí a není určen k předání kinetické energie proudu kapaliny. Z tohoto důvodu je tlakový rozdíl mezi plynem a kapalinou velmi malý. Proudící plyn vstupuje do kapaliny a vytváří v ní bubliny. Kolem přívodu vzniká dvoufázový tok. Je dokázáno, že čím více je přivedeno do kapaliny plynu, tím vzniká více bublin, které významně napomáhají rozprašování. Tyto bubliny při průchodu otvorem trysky „explodují“. Expanze velkého množství malých bublin má za následek na výstupu z trysky rozpad okolní kapaliny na velmi malé kapky. Podle konstrukce atomizéru lze přivádět buď kapalinu do proudícího plynu nebo plyn do proudící kapaliny.



Obr. 4.19 Schématický nákres effervescentního atomizéru (Lefebvre [1])
1. plyn, 2. kapalina

Výhody tohoto způsobu atomizace:

- kvalitní atomizace i při malých vstřikovacích tlacích a malých průtocích plynu
- tyto atomizéry mají jednoduchou konstrukci, jsou spolehlivé, snadno se udržují

Jako hlavní nevýhodu lze stejně jako u všech pneumatických atomizérů brát nutnost samostatného přívodu atomizačního vzduchu a problémy s pulsací. [1]

4.4 Ostatní typy atomizérů

Rozvoj průmyslu klade stále vyšší požadavky na rozprašování a jeho kvalitu, které nelze vždy dosáhnout výše popsányými způsoby rozprašování. Některé nároky jsou popsány zde [1], [2]:

- atomizace velmi viskózních nenewtonských kapalin
- atomizace velkého množství kapalin
- atomizace kontaminovaných nebo chemicky agresivních kapalin
- atomizace velmi malého množství kapaliny v inhalační komoře

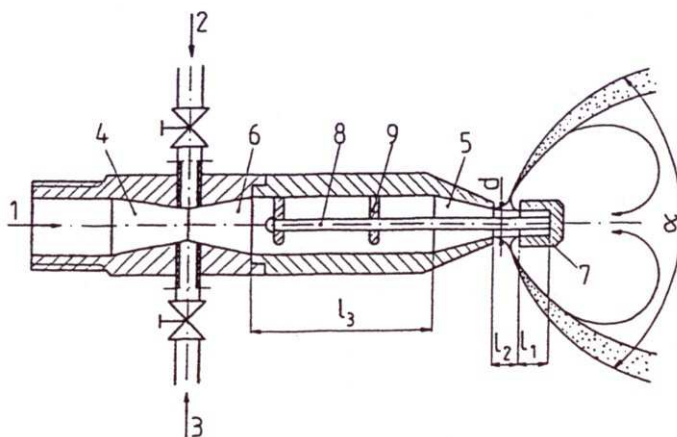
Pro uspokojení těchto nároků, jsou k rozprašování používány další formy energie (elektrická nebo vibrační). Na základě těchto energií byly vyvinuty různé typy atomizérů:

- akustické
- ultrazvukové

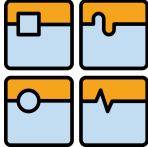
4.4.1 Akustické atomizéry

Tyto atomizéry pracují na základě akustických vibrací, které na kapalině vygeneruje průtok plynu s nadzvukovou rychlostí, a tím způsobí oddělování kapek. Frekvence vibrací je v rozmezí 0,016 – 20 kHz. Akustické atomizéry využívají plynu podobně jako pneumatické atomizéry. Mezi pneumatickými a akustickými atomizéry jsou následující hlavní rozdíly [2]:

- akustické atomizéry využívají jinou formu energie dodanou proudícím plynem
- akustické atomizéry mají lepší kvalitu a jednotnost rozprašování
- akustické atomizéry mají lepší vyhlídky pro použití v budoucnosti
- konstrukce je složitější než u pneumatických atomizérů

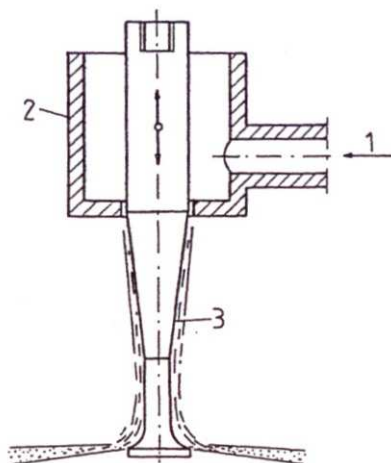


Obr. 4.20 Akustický atomizér (Bayvel [2]) - 1. plyn, 2,3. dvě různé kapaliny, 4. první tryska, 5. druhá tryska, 6. směšovací komora, 7. rezonátor, 8. dík rezonátoru, 9. výztuha

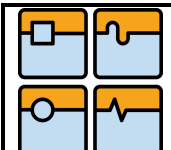
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 41
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.4.2 Ultrazvukové atomizéry

Fungují na principu kontaktu kapaliny s kmitajícím prvkem generátoru, který má vibrační frekvenci ultrazvuku (nad 20 kHz). Kapalina se rozpadá na kapky o velikosti 30 - 60 μm a atomizovaná kapalina má malé rozměry rozptýlu. Výhodou u těchto atomizérů je nízká spotřeba elektrické energie, kapalina nemusí být dodávána pod tlakem. Nevýhodou je malý průtok, složité a drahé zařízení ultrazvukového generátoru. [2]



Obr. 4.21 Ultrazvukový atomizér (Bayvel [2]) – 1. kapalina, 2. komora, 3. vibrační dřík

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 42
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5 Základní rozdělení hořáků

V této kapitole jsou jednoduše popsány dva základní způsoby rozdělení hořáků, a to podle způsobu přívodu spalovacího vzduchu a podle spalovaného paliva.

5.1 Přívod spalovacího vzduchu

Hořáky s přírodním tahem

Nasávají spalovací vzduch z okolí (komínový efekt). Tento způsob nasávání vzduchu je využíván často, špatně se reguluje, vzduch nelze předehtřívát.

Hořáky s nuceným tahem

Tah je vytvářen pomocí ventilátoru. Dle umístění ventilátoru je lze dělit na:

- blokové – ventilátor a řízení přívodu paliva a vzduchu jsou součástí konstrukce hořáku
- výkonové – ventilátor a řízení přívodu paliva a vzduchu jsou umístěny mimo hořák a propojeny potrubím

Jejich hlavní výhodou je možnost snadné regulace, předehtřev spalovacího vzduchu. [3]

5.2 Spalované palivo

Druhým způsobem rozdělení hořáků je podle spalovaného paliva:

- hořáky na pevná paliva
- hořáky na kapalná paliva
- hořáky na plynná paliva
- kombinované hořáky

Kombinované hořáky umožňují spalovat více druhů paliv. Většinou je to kombinace plynného a kapalného paliva. [3]

6 Zkušební zařízení

Praktické zkoušky byly prováděny v Těžké laboratoři Ústavu procesního a ekologického inženýrství FSI VUT v Brně. V této části práce jsou jednoduše popsány základní části zkušebního zařízení. Zkušební zařízení se skládá z těchto hlavních částí:

- spalovací komora
- okruh paliva
- okruh chladicí vody
- okruh tlakového vzduchu
- okruh spalovacího vzduchu
- přívod plynu
- komín

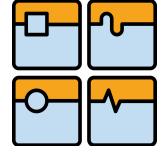
Hlavní technologické schéma je zobrazeno v příloze 1.

Spalovací komora

Spalovací komora je horizontální dvouplášťová vodou chlazená, o vnitřním průměru 1 m a celkovou délkou 4 m. Komoru lze rozdělit na tři samostatné části s různou délkou. Minimální délka komory je 2 m a maximální délka je 4 m. Plášť komory má sedm nezávislých vodou chlazených sekcí. Po obvodu a na straně spalínovodu jsou umístěna průhledítka pro pozorování plamene (viz obr. 6).



Obr. 6 Zkušební komora

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 44
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

V čele komory je umístěn hořák. Komora je s komínem propojena pomocí spalínovodu. Ve spalínovodu je umístěno čidlo analyzátoru spalín Testo, který měří obsah škodlivých látek, obsah kyslíku ve spalínách a teplotu spalín. Spalovací komora může pracovat při podtlaku až -600 Pa (vzhledem k okolí).

Přívod kapalného paliva

Přívod kapalného paliva do hořáku se skládá ze dvou různých okruhů:

- okruh lehkého topného oleje (LTO)
- okruh těžkého topného oleje (TTO)

Každý z okruhů má vlastní zásobník paliva o objemu cca 250 l LTO a cca 300 l TTO. Zásobníky jsou uloženy na samostatných pojízdných vozících. Součástí vozíků jsou regulační armatury a měřicí přístroje (tlakoměry, průtokoměry, teploměry pro lokální a dálkové měření). V zásobníku na těžké topné oleje je umístěno otopné těleso pro přehřev paliv s vyšší viskozitou. Jako médium pro ohřev je použita horká voda. Celý zásobník a potrubí je izolováno. Ohřev vody je zajištěn pomocí elektrokotle. Palivo je do hořáku dávkováno pomocí čerpadel (TTO – šroubové, LTO – odstředivé). Na hořák je okruh připojen pomocí vysokotlakých hadic. Okruh LTO - kapacita 400 kg/h, maximální tlak v okruhu 14 bar. Okruh TTO – kapacita 400 kg/h, maximální tlak v okruhu 22 bar, maximální teplota 120 °C, minimální viskozita čerpané kapaliny 10 mm²/s. Technologické schéma dávkování oleje je zobrazeno v příloze č. 2.

Chladicí voda

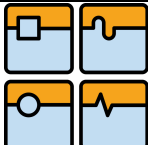
Chladicí voda slouží při spalování k ochlazování vnitřního pláště komory. Voda je pomocí čerpadla rozváděna ze zásobníku potrubím do jednotlivých sekcí spalovací komory. V okruhu je možné měřit průtok, tlak a teplotu vody (lokálně i dálkově) u jednotlivých sekcí. Voda je ochlazována v chladicí věži a přiváděna zpět do zásobníku. Před každou zkouškou je potřeba potrubí v okruhu chladicí vody odvzdušnit. Okruh chladicí vody zobrazen v příloze č. 1 a 3.

Tlakový vzduch

Jako atomizační médium je používán vzduch. Ten je přiváděn pomocí kompresoru do vzdušníku a dále pak do okruhu tlakového vzduchu. Okruh je na hořák připojen pomocí tlakové hadice. Podle potřeby lze do okruhu zapojit ohřívač a vzduch před vstupem do hořáku přehřívát. Lze zde lokálně i dálkově měřit průtok, tlak a teplotu atomizačního vzduchu. Maximální tlak v okruhu 10 bar, kapacita 90 kg/h, maximální teplota přehřevu 250 °C. Okruh tlakového vzduchu je zobrazen v příloze č. 2.

Spalovací vzduch

Spalovací vzduch je přiváděn pomocí ventilátoru do hořáku. Měření průtoku, tlaku a teploty je možné pouze dálkově. Spalovací vzduch je nasáván mimo budovu a není přehříván. Regulaci průtoku spalovacího vzduchu lze ovlivnit obsah O₂

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 45
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

v suchých spalínách. Ovládací prvky regulace průtoku vzduchu jsou umístěny na řídicím panelu rozvodné skříně. Kapacita 5000 m³/h, maximální přetlak 6 kPa. Okruh spalovacího vzduchu je zobrazen v příloze č. 1 a 3.

Přívod plynu

Plyn může být využíván při zkouškách plynových nebo kombinovaných hořáků, a dále pak jako pomocné médium při spalování (stabilizační hořák) nebo pro předeřev komory. Je přiváděn z řádu do regulační stanice, která je součástí laboratoře, a dále pak do hořáku. Kapacita do 250 m_N³/h, maximální tlak v řádu 90 kPa. Okruh přívodu plynu viz příloha 1 a 3.

Sběr dat

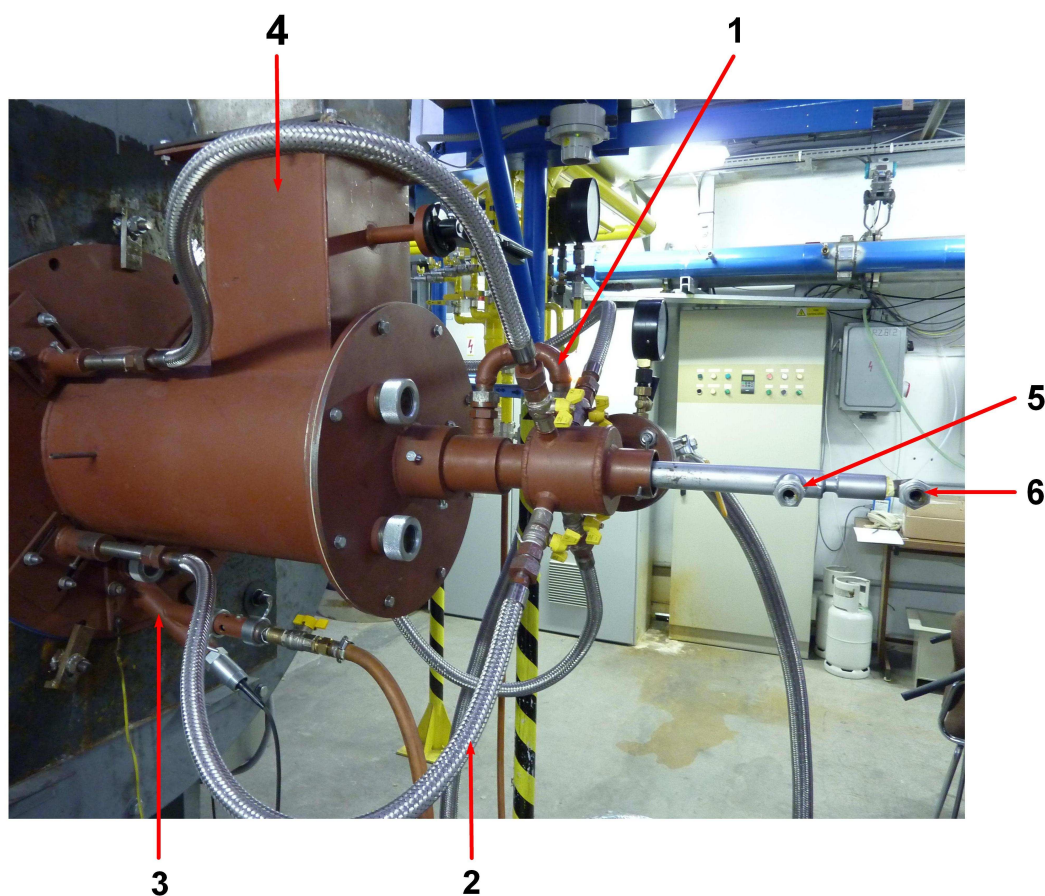
Sběr dat je zajištěn systémem, který umožňuje zaznamenávat data ze snímačů rozmístěných dle Technologického schématu ASŘTP (viz Příloha 3). Systém umožňuje zaznamenávat data v časovém intervalu:

- 1 sekundy (automaticky)
- 2 minut (automaticky)
- na povel operátora

7 Zkoušený hořák

Pro zkoušky byl použit výkonový hořák nainstalovaný na čelo spalovací komory. Jedná se o svařované zařízení, ve kterém je umístěn hořákový kámen. Ovládací prvky a ventilátor jsou umístěny mimo tělo hořáku.

Hořák je v provedení s jednostupňovým přívodem spalovacího vzduchu a dvoustupňovým přívodem plynu. Primární stupeň přívodu plynu umožňuje instalaci olejového atomizéru. Stabilizační hořák se používá pro zapálení a stabilizaci plamene.



Obr. 7.1 Výkonový hořák

1. primární přívod plynu, 2. sekundární přívod plynu, 3. stabilizační hořák,
4. přívod spalovacího vzduchu, 5. přívod tlakového vzduchu, 6. přívod oleje

Hořák je vybaven bezpečnostním zařízením, které v případě uhasnutí plamene vydá varovný signál (zvukový a světelný) a automaticky uzavírá přívod plynu do hořáku. Na obr. 7.1 je vidět vlastní hořák se kterým byly provedeny zkoušky.

7.1 Použité palivo

V průběhu zkoušek byla použita tato paliva:

- extra lehký topný olej (ELTO)
- řepkový olej (ŘO)
- lehký cyklový olej (LCO)

Extra lehký topný olej

ELTO je směs kapalných uhlovodíků. Získává se z ropy destilací případně rafinací. Pro zlepšení některých svých vlastností může obsahovat různé přísady zlepšující mazivost, protikorozi vlastnosti, oxidační stálost. Používá se především k výrobě tepla v malých a středních spalovacích zařízeních. Hodnoty získané laboratorní zkouškou:

- spalné teplo – 45,1 MJ/kg
- výhřevnost – 42,6 MJ/kg
- viskozita při 20 °C – 4,7 mm²/s
- hustota při 20 °C – 836,9 kg/m³
- bod vzplanutí – > 56 °C
- stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg ELTO – 11,19 m_N³/kg

Řepkový olej

Vyrábí se lisováním semen řepky olejky. Pomocí esterifikace se z něj vyrábí MEŘO. Díky své viskozitě je nutno palivo přehřívát (viz laboratorní zkoušky). Hodnoty získané laboratorní zkouškou:

- spalné teplo – 40,5 MJ/kg
- výhřevnost – 37,9 MJ/kg
- viskozita při 20 °C – 67,8 mm²/s
- viskozita při 60 °C – 13,5 mm²/s
- vypočtená teplota přehřevu pro viskozitu < 10 mm²/s – cca 70 °C
- hustota při 20 °C – 912 kg/m³
- hustota při 60 °C – 871 kg/m³
- bod vzplanutí – 135 °C
- stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva ŘO – 9,9 m_N³/kg

Lehký cyklový olej

Jedná se o destilační zbytky z vakuové destilace ropy. U tohoto paliva je popsáno pouze chování plamene při různých průtocích a GLR.

7.2 Použité rozprašovací hlavy

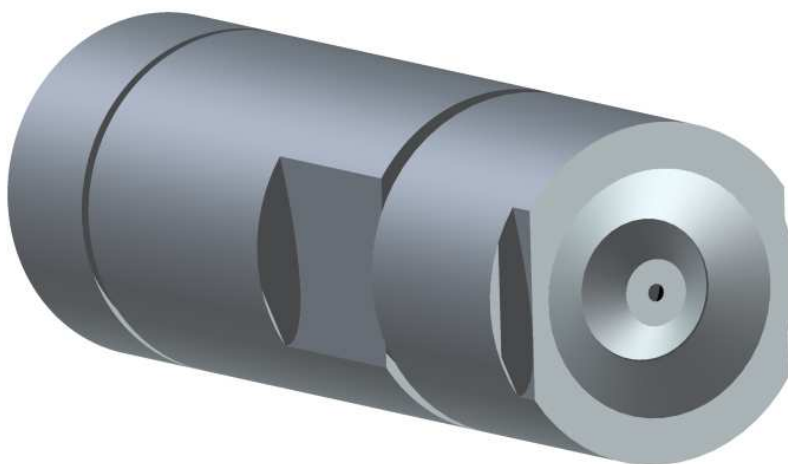
Zkoušky byly prováděny se dvěma rozprašovacími hlavami:

- effervescentní atomizér
- atomizér TTO

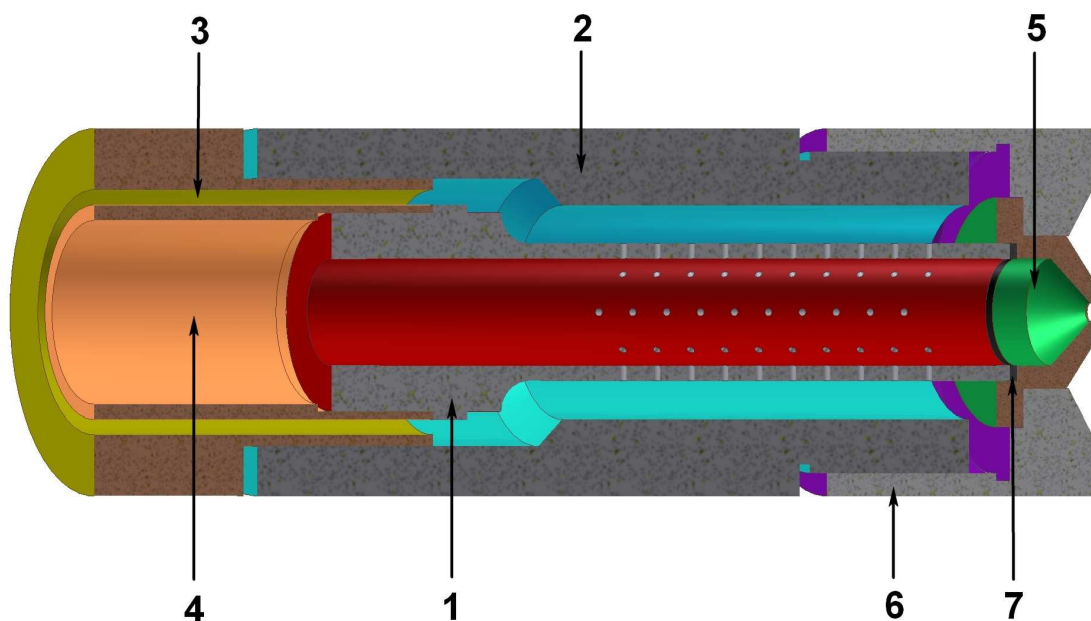
Effervescentní atomizér byl zkoušen při spalování extra lehkého topného oleje a řepkového oleje. S atomizérem TTO byly provedeny zkoušky při spalování extra lehkého topného oleje a lehkého cyklového oleje (bez záznamu a zpracování dat). Modely obou atomizérů jsou uvedeny v další části této kapitoly.

Effervescentní atomizér

Směšovací komora atomizéru má osmdesát otvorů o ϕ 1 mm, rozmístěných ve dvaceti řadách (čtyři otvory na řadu) s roztečí jednotlivých řad 5 mm. Každá sudá řada pootočená o 45° v úči podélné ose. Při spalování ELTO použita tryska s jedním výstupním otvorem o ϕ 2,5 mm. Při spalování řepkového oleje použita tryska se třemi výstupními otvory o ϕ 1,4 mm a rozevřením vůči ose 20° .



Obr. 7.2 Model effervescentního atomizéru

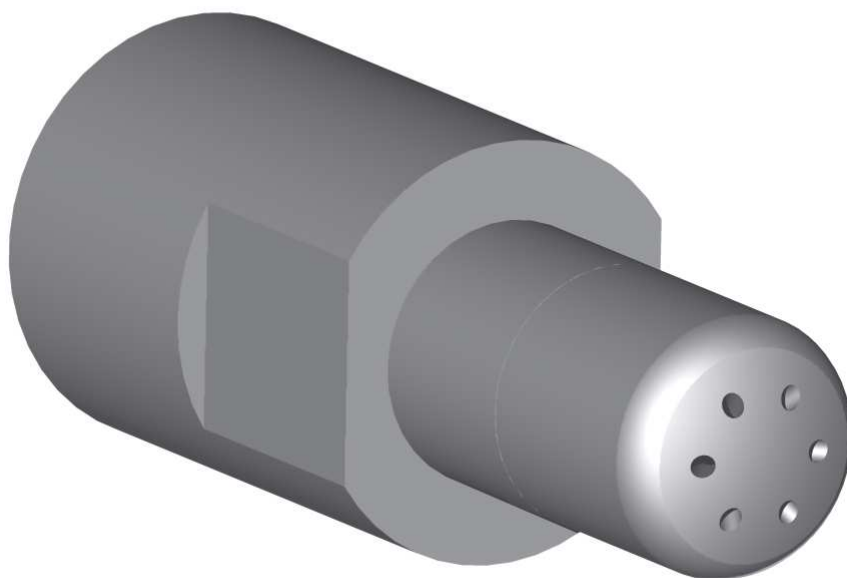


Obr. 7.3 Řez modelem effervescentního atomizéru

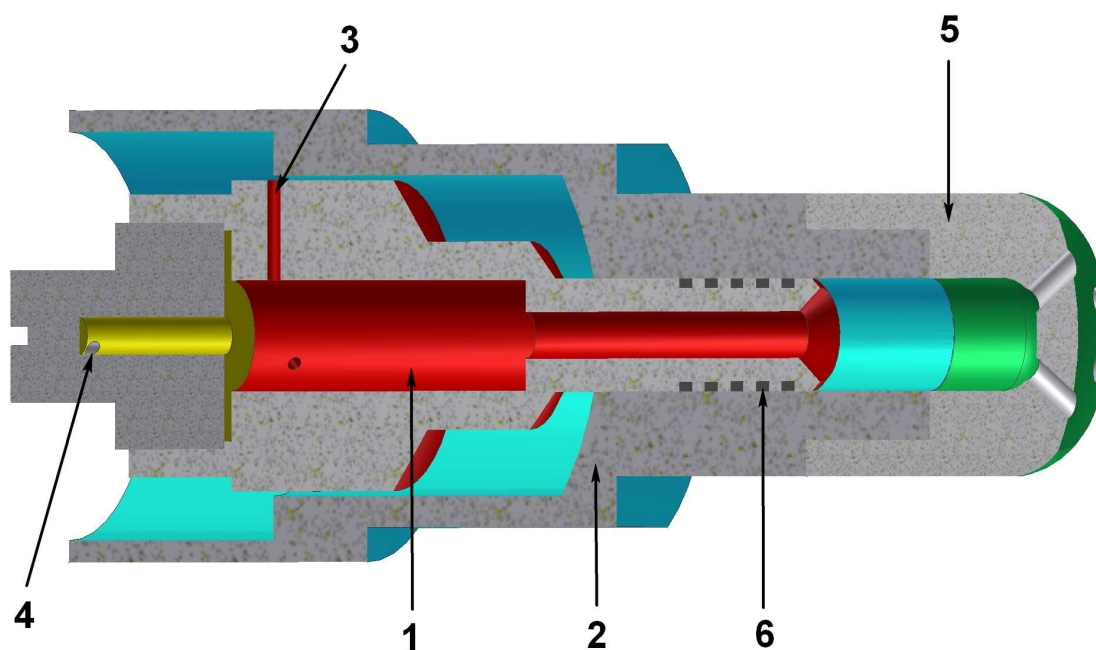
1. směšovací komora, 2. plášť, 3. přívod tlakového vzduchu,
4. přívod paliva, 5. tryska, 6. matice trysky, 7. těsnění

Atomizér TTO

Tryska má šest otvorů o ϕ 2,6 mm, úhel rozevření 40° v úči podélné ose. Vstup paliva do směšovací komory (1) otvorem (4) o ϕ 1,5 mm. Vstup tlakového vzduchu třemi otvory (3) o ϕ 1 mm.



Obr. 7.4 Model atomizéru TTO



Obr. 7.5 Řez modelem atomizéru TTO

1. směšovací komora, 2. plášť, 3. přívod tlakového vzduchu,
4. přívod paliva, 5. tryska, 6. těsnění

8 Zkoušky rozprašovacích hlav

8.1 Popis a plán zkoušek

8.1.1 Cíl

Cílem praktické části diplomové práce je určení výkonových charakteristik použitých atomizérů a vliv GLR na kvalitu spalování, kdy na základě naměřených dat a pozorování plamene při spalování má být určeno celkové chování použitých atomizérů a plamene. Určení vhodných průtoků paliva a GLR vychází z vyhodnocení naměřených dat, pozorovaného chování plamene a jeho viditelných rozměrů. Velmi důležitou součástí při hodnocení je tvorba emisí (CO , NO , NO_2 , SO_2) při spalování. Naměřené hodnoty emisí a to především CO , musí být zohledněny v hodnocení celkového chování atomizérů a plamene při spalování paliv uvedených v části 7.1 této práce.

8.1.2 Plán zkoušek

Nedílnou součástí zkoušek je návrh jejich plánu. Je velmi důležité předem určit jakým způsobem, a které hodnoty budou zaznamenávány a pozorovány pro další zpracování a vyhodnocení průběhu jednotlivých zkoušek. V našem případě byly zkoušky výše uvedených atomizérů a paliv rozděleny do čtyř dnů. Jednotlivá nastavení, záznam dat a vizuální pozorování probíhá identicky u všech měření. Liší se pouze v nastavovaných a měřených hodnotách. Při plánování zkoušek rozprašovacích hlav je důležité určit:

- nastavované hodnoty
- měřené (pozorované) hodnoty
- chování plamene (vizuálním pozorováním)
- způsob záznamu a vyhodnocení dat

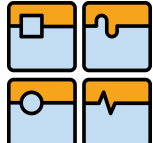
Nastavené hodnoty

Během všech čtyř zkoušek byly nastavovány a zaznamenávány hodnoty u těchto médií:

- spalovaná kapalina
- tlakový vzduch
- spalovací vzduch

Spalovaná kapalina

U spalované kapaliny nastavujeme průtok a teplotu kapaliny a tomu odpovídá tlak před hořákem (resp. přetlak před hořákem vůči okolí), s tím úzce souvisí i nastavení průtoků u tlakového vzduchu v závislosti na požadovaném GLR. Systém sběru dat zaznamenává průtok v l/h, k určení GLR je potřeba průtok v kg/h. Z tohoto důvodu je důležité znát hustotu paliva a uvést ji do systému, aby systém správně provedl přepočty a zobrazil data na monitoru.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 52
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Teplota kapaliny je nastavována pouze v případě, pokud má kapalina vyšší viskozitu a je potřeba ji pomocí předehřevu paliva snížit na hodnotu potřebnou k dostačujícímu rozprášení (viskozita ovlivňuje rozpad kapaliny na malé kapky, tím pádem dostatečné odpaření paliva a jeho úplné spálení). Palivo je předehříváno v zásobníku TTO, pomocí ohřevu horkou vodou. Pokud není potřeba kapalinu předehřívát její teplota je přibližně stejná jako teplota okolí.

Tlak (resp. přetlak vůči okolí) kapaliny před hořákem je závislý na nastaveném průtoku kapaliny.

Tlakový vzduch

Stejně jako u spalovaného paliva nastavujeme průtok, teplotu a tlak před hořákem (resp. přetlak).

Průtok tlakového vzduchu nastavujeme v závislosti na průtoku kapaliny a požadovaném GLR (GLR je poměr hmotnostního průtoku tlaku vzduchu a hmotnostního průtoku kapaliny). Opět je nutný přepočet průtoku vzduchu na kg/h.

Teplota tlakového vzduchu je nastavována pouze pokud je potřeba, aby kapalina nebyla ochlazována vzduchem s nižší teplotou. Ohřev je možný připojením předehříváče do okruhu tlakového vzduchu.

Tlak (resp. přetlak vůči okolí) vzduchu před hořákem je závislý na nastaveném průtoku vzduchu.

Spalovací vzduch

U spalovacího vzduchu byl průtok nastaven tak, aby bylo dosaženo 6 % (resp. 5 %) přebytku O_2 v suchých spalínách (čidlo je umístěno ve spalínovodu). Vzduch je nasáván mimo budovu zkušebny, a do hořáku dopravován ventilátorem. Není předehříván, z tohoto důvodu teplota spalovacího vzduchu odpovídá venkovní teplotě.

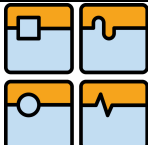
Měřené hodnoty

V průběhu zkoušek byly měřeny a zaznamenávány tyto hodnoty:

Spalovací komora

- tlak ve spalovací komoře (Pa)
- teplota spalin ($^{\circ}C$) v kouřovodu
- tvorba emisí CO, NO, NO₂, SO₂ (ppm)

Spalovací komora může pracovat při přetlaku nebo podtlaku (až -600 Pa) vůči okolnímu tlaku. Čidla pro měření výše uvedených hodnot jsou napojena do spalovací komory. Emise se měří pomocí analyzátoru spalin Testo.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Vizuální pozorování plamene

U jednotlivých nastavení kombinací průtoků paliva a GLR je nutné určit kvalitu rozprašování, spalování a vlastnosti plamene. Hodnotí se zde délka, průměr plamene a jeho chování. Díky rozmístění průhledítek je určení přibližné délky plamene relativně jednoduché. Průhledítka jsou po stranách komory od sebe vzájemně rozmístěna ve vzdálenosti cca 0,5 m. Proto lze pozorováním jednoduše určit přibližnou délku plamene. Průměr plamene lze přibližně určit pozorováním plamene průhledítkem, které je umístěno proti hořáku na straně spalínovodu. Porovnáním průměru plamene a komory (1 m), lze přibližně odhadnout jeho rozměry.

Kvalitu rozprašování a spalování lze určit podle usazování nespáleného paliva na dno komory. Pokud není zaznamenáno usazování paliva, kapalina je rozprášena na dostatečně malé kapky, které se při průletu plamenem včas odpaří a vyhoří.

Dále se hodnotí stabilita plamene, ten by měl v průběhu pozorování stejný tvar, nemělo by docházet k jeho pulsacím a odtrhávání od hořáku, popř. jeho uhasínání.

Sběr dat

Systém měření umožňuje sběr dat ve třech režimech podle časového intervalu záznamu. Záznam je prováděn automaticky po 1 sekundě, 2 minutách nebo manuálně na povel operátora (tlačítkem na rozvodné skříni). Je nutné zvolit vhodný režim pro záznam, aby bylo možné naměřená data dostatečně vyhodnotit. V našem případě bylo nejvýhodnější použití záznamu na povel operátora. Bylo provedeno pět záznamů, časový interval mezi záznamy byl 30 sekund. Během tohoto měření byla určena také délka, průměr a stabilita plamene a tyto hodnoty byly zaznamenány do tabulky. Systém ukládá data z jednotlivých čidel do textových souborů nebo do tabulek ve formátu dbf.

Z pěti záznamů byl u jednotlivých hodnot určen aritmetický průměr a ten pak zanesen do tabulek. Pro určení výkonových charakteristik byly využity průměrné hodnoty průtoků a tlaku oleje (vzduchu). Grafy jsou vytvořeny pomocí nastavených průtoků a tlaků pro jednotlivá GLR (tzn. v jednom grafu jsou zaneseny průtoky např. 30, 40, 60 kg/h a jim odpovídající tlaky před hořákem při GLR 10 %). Jednotlivé body jsou proloženy přímkou.

Ke sběru dat bylo přistoupeno vždy až po termodynamickém ustálení kouřovodu, tj. teplota spalín musela na monitoru na grafu vykazovat konstantní hodnotu.

8.1.3 Odchyłky od předpokládaného plánu experimentu

Během zkoušek bylo zjištěno podměřování lokálního manometru o hodnotu 0,1 – 0,2 baru. Standardně je tlak vzduchu roven nebo vyšší než tlak kapaliny.

8.2 Zkoušky

8.2.1 Effervescentní atomizér – palivo ELTO

Prvním zkouška proběhla s effervescentním atomizérem a jako palivo bylo použito extra lehkého topného oleje. Díky svým vyhovujícím fyzikálně chemickým vlastnostem (především dostačující viskozitě) nebylo nutné olej předeheřivat. Bylo provedeno odvzdušnění okruhu chladicí vody. Dalším krokem byl předeheřev spalovací komory na teplotu cca 830 °C (spalováním zemního plynu). Poté byl uzavřen sekundární a primární přívod plynu do hořáku, palivo zapáleno (a plamen stabilizován) pouze stabilizačním hořákem.

Základní nastavení GLR 10 % při průtoku oleje 78 kg/h, nastaven průtok spalovacího vzduchu na cca 6 % přebytku O₂ v suchých spalínách. Po ustálení O₂, teploty spalin bylo provedeno 5 měření (na povel operátora po 30 sekundách). Během tohoto intervalu byla zaznamenána viditelná délka a průměr plamene. Dále pak jeho stabilita a kvalita spalování (usazování paliva na dně komory při nedostatečném spalování, emise). Nastavení a záznam dalších GLR probíhal stejným způsobem jak je popsáno výše. Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulkách 3 – 6. Průtoky a tlak oleje (vzduchu) na hořáku jsou zaneseny v grafech (viz obr. 8.1 – 8.3).

Při všech nastavených průtocích a GLR (kromě GLR 10 % při průtoku oleje 40 kg/h) byl plamen během měření stabilní a bez pulsací. Nebylo zaznamenáno odtrhávání plamene od hořáku. Při nastavení průtoku oleje 40 kg/h a GLR 10 %, byla zkouška kvůli velmi špatnému rozprašování paliva a vysokým hodnotám CO při spalování předčasně ukončena. Při tomto nastavení hrozilo poškození čidla spalin.

Effervescentní atomizér				
6% O ₂ v suchých spalinách - analyzátor - 18.2.2010		Palivo: ELTO		
Veličina	Jednotka	GLR 10 %	GLR 15 %	GLR 20 %
Hustota	kg/m ³	836,90		
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	-	30,53	29,30
Teplota	°C	-	32,6	31,0
Přetlak před hořákem	bar	-	1,61	2,40
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	-	4,51	6,33
Teplota	°C	-	19,7	19,8
Přetlak před hořákem	bar	-	1,50	2,29
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru				
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	-	162	156
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg	-	11,19	11,19
Teplota	°C	-	2,9	3,0
Spaliny - měřené hodnoty				
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-	95	95
Teplota	°C	-	610	636
O ₂	obj. % v SS	-	5,85	6,74
CO	ppm	-	130	17
NO - přibližné hodnoty	ppm	-	33	51
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	-	15	4
SO ₂	ppm	-	-	-
Chování plamene				
Viditelný průměr plamene	m	-	0,30	0,25
Viditelná délka plamene	m	-	2,20	2,00
Úkap paliva v komoře	-	-	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	-	A	A

Tab. 3 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 30 kg/h (ELTO)

Effervescentní atomizér				
6% O ₂ v suchých spalínách - analyzátor - 18.2.2010		Palivo: ELTO		
Veličina	Jednotka	GLR 10 %	GLR 15 %	GLR 20 %
Hustota	kg/m ³	836,90		
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	38,67	39,63	39,56
Teplota	°C	32,8	30,6	35,1
Přetlak před hořákem	bar	1,73	2,53	3,56
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	4,12	5,90	8,04
Teplota	°C	20,0	20,1	20,3
Přetlak před hořákem	bar	1,57	2,42	3,45
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru				
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	75	50	33
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg	11,19	11,19	11,19
Teplota	°C	3,0	3,0	3,0
Spaliny - měřené hodnoty				
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-136	-84	-95
Teplota	°C	624	681	718
O ₂	obj. % v SS	6,20	6,19	6,23
CO	ppm	806	49	5
NO - přibližné hodnoty	ppm	37	36	54
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	1	11	3
SO ₂	ppm	-	-	-
Chování plamene				
Viditelný průměr plamene	m	0,30	0,30	0,30
Viditelná délka plamene	m	2,50	2,50	2,00
Ukap paliva v komoře	-	A	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	A	A	A

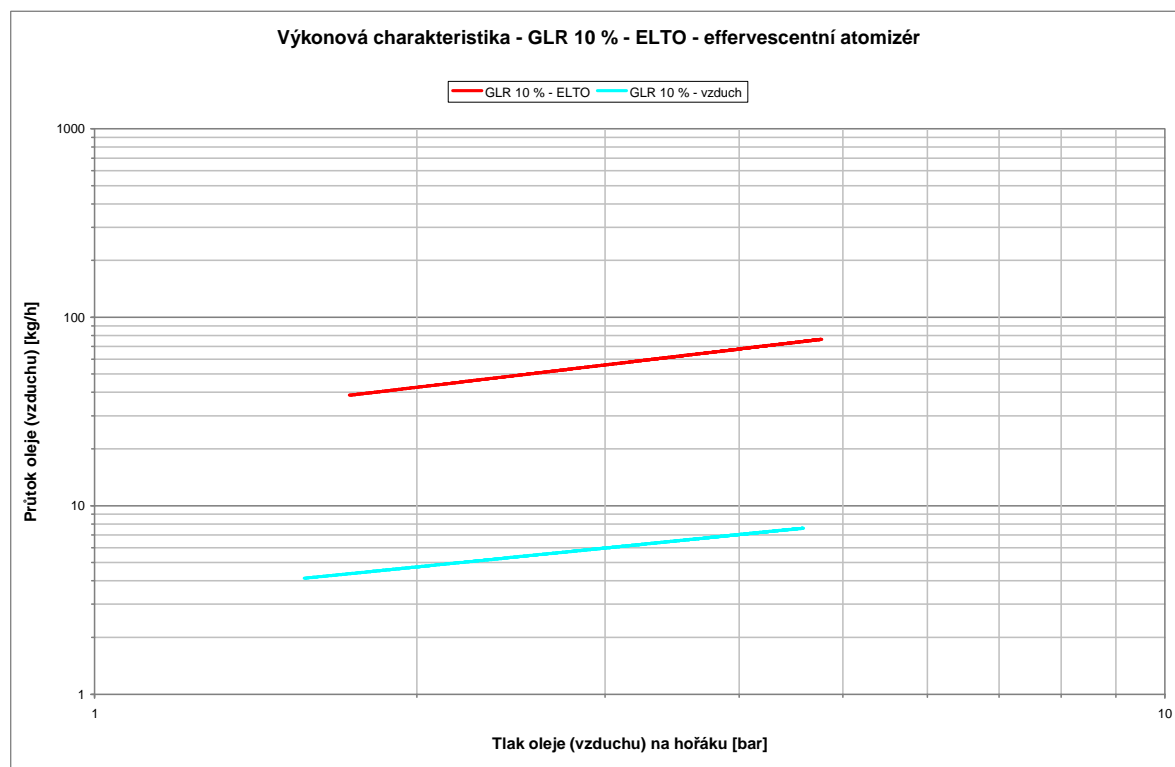
Tab. 4 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 40 kg/h (ELTO)

Effervescentní atomizér				
6% O ₂ v suchých spalinách - analyzátor - 18.2.2010		Palivo: ELTO		
Veličina	Jednotka	GLR 10 %	GLR 15 %	GLR 20 %
Hustota	kg/m ³	836,90		
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	58,61	60,44	60,48
Teplota	°C	30,1	32,4	31,7
Přetlak před hořákem	bar	3,26	4,81	5,94
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	6,14	9,09	12,06
Teplota	°C	20,5	20,5	20,5
Přetlak před hořákem	bar	3,14	4,70	5,82
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru				
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	10	-7	-9
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg	11,19	11,19	11,19
Teplota	°C	3,2	3,4	3,4
Spaliny - měřené hodnoty				
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-112	-107	-111
Teplota	°C	792	829	840
O ₂	obj. % v SS	6,39	6,02	5,99
CO	ppm	11	4	4
NO - přibližné hodnoty	ppm	49	58	65
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	2	2	2
SO ₂	ppm	-	-	-
Chování plamene				
Viditelný průměr plamene	m	0,40	0,30	0,30
Viditelná délka plamene	m	3,00	2,75	2,50
Ukap paliva v komoře	-	N	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	A	A	A

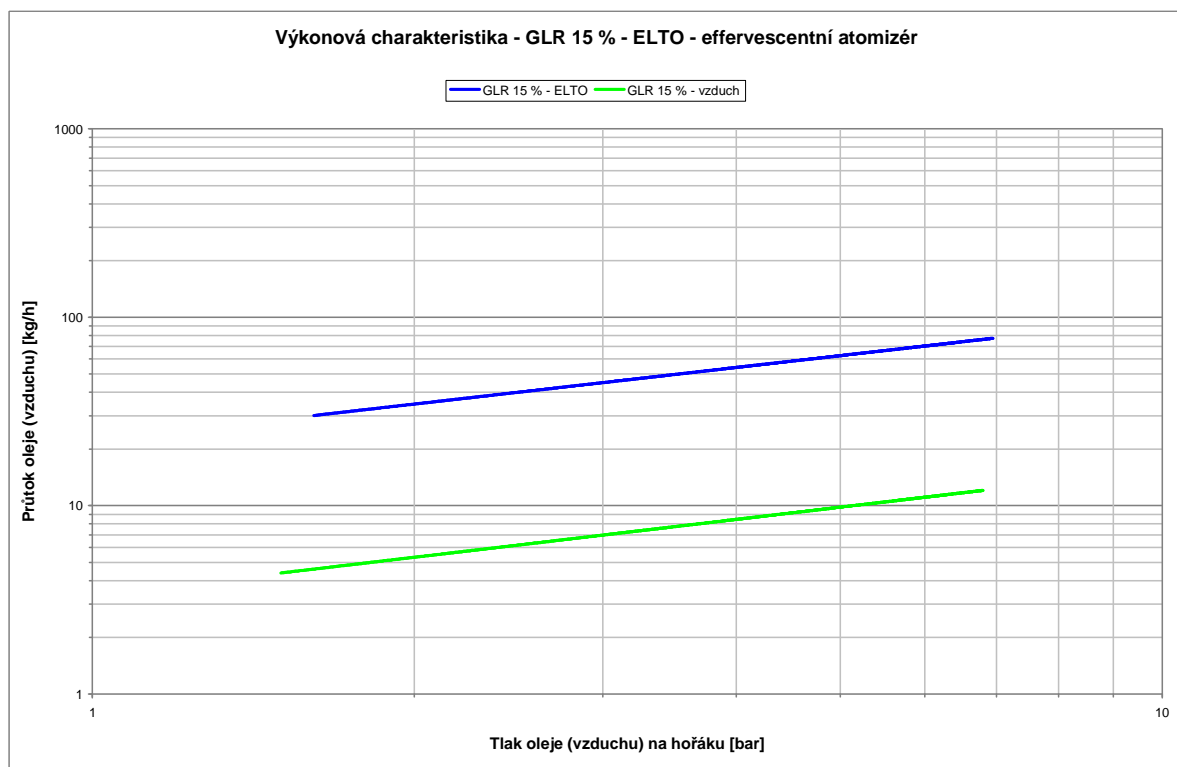
Tab. 5 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 60 kg/h (ELTO)

Effervescentní atomizér				
6% O ₂ v suchých spalínách - analyzátor - 18.2.2010		Palivo: ELTO		
Veličina	Jednotka	GLR 10 %	GLR 15 %	GLR 20 %
Hustota	kg/m ³	836,90		
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	76,79	78,27	78,86
Teplota	°C	33,6	31,8	31,2
Přetlak před hořákem	bar	4,77	6,94	8,25
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	7,59	12,49	16,20
Teplota	°C	20,2	20,3	20,4
Přetlak před hořákem	bar	4,59	6,80	8,13
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru				
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	40	43	33
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg	11,19	11,19	11,19
Teplota	°C	3,8	3,9	3,9
Spaliny - měřené hodnoty				
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-122	-27	-35
Teplota	°C	800	858	879
O ₂	obj. % v SS	6,31	6,13	6,07
CO	ppm	7	4	5
NO - přibližné hodnoty	ppm	55	66	71
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	1	1	1
SO ₂	ppm	-	-	-
Chování plamene				
Viditelný průměr plamene	m	0,40	0,40	0,40
Viditelná délka plamene	m	3,00	2,80	2,50
Úkap paliva v komoře	-	N	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	A	A	A

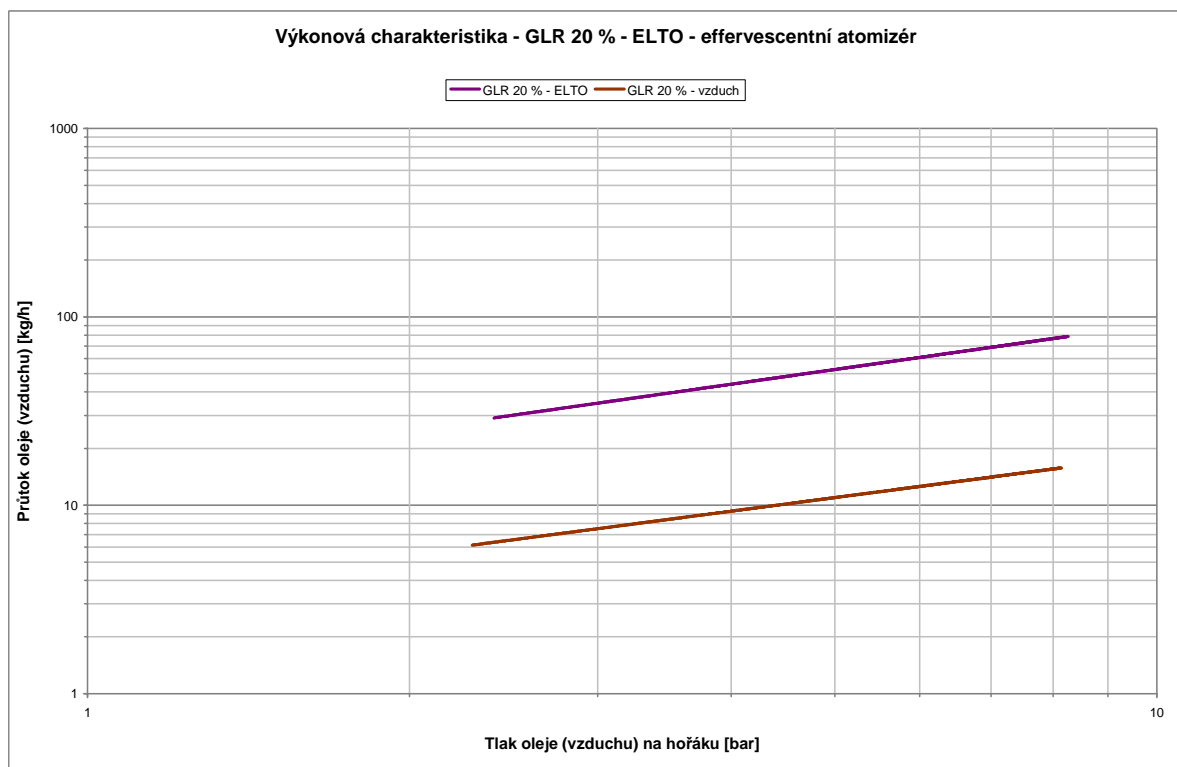
Tab. 6 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 78 kg/h (ELTO)



Obr. 8.1 Výkonová charakteristika effervescentního atomizéru při GLR 10 % (ELTO)



Obr. 8.2 Výkonová charakteristika effervescentního atomizéru při GLR 15 % (ELTO)



Obr. 8.3 Výkonová charakteristika effervescentního atomizéru při GLR 20 % (ELTO)

8.2.2 Atomizér TTO – palivo ELTO

Při této zkoušce byl použit atomizér TTO při spalování extra lehkého topného oleje. Stejně jako při předchozí zkoušce nebylo nutné palivo přehřívát. Další kroky jsou identické s předchozí zkouškou.

Základní nastavení GLR 30 % při průtoku oleje 60 kg/h, průtok spalovacího vzduchu na cca 6 % přebytku O_2 v suchých spalínách. Po ustálení O_2 , teploty spalin, bylo provedeno 5 měření (na povel operátora po 30 sekundách). Záznam délky a průměru plamene, jeho stabilita a kvalita spalování. Poté následovalo nastavení a záznam dalších GLR a průtoků oleje. Výsledky těchto nastavení jsou uvedeny v tabulkách 7 – 9. Průtoky a tlaky oleje (vzduchu) na hořáku jsou zaneseny do grafů (viz obr. 8.4 – 8.6).

Při všech nastavených průtocích a GLR (kromě GLR 20 % a 25 % při průtoku 60 kg/h) byl plamen během měření stabilní a bez pulsací. Nebylo zaznamenáno odtrhávání plamene od hořáku. Při nastavení průtoku oleje 60 kg/h a GLR 20 %, bylo palivo špatně rozprašováno, spalováno a bylo zaznamenáno usazování nespáleného paliva na dně komory. Toto nastavení je nepoužitelné. Při průtoku oleje 60 kg/h a GLR 25 % bylo palivo hůře spalováno (mírné usazování nespáleného paliva na dně komory).

Atomizér TTO				
6% O ₂ v suchých spalínách - analyzátor - 18.3.2010		Palivo: ELTO		
Veličina	Jednotka	GLR 25 %	GLR 30 %	GLR 40 %
Hustota	kg/m ³	836,90		
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	60,25	60,02	60,40
Teplota	°C	29,4	32,6	28,7
Přetlak před hořákem	bar	1,95	2,32	2,70
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	15,34	20,58	24,80
Teplota	°C	20,6	20,5	20,8
Přetlak před hořákem	bar	2,68	3,75	4,74
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru				
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	-19	-15	-33
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg	11,19	11,19	11,19
Teplota	°C	10,5	10,1	10,9
Spaliny - měřené hodnoty				
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-100	-107	-108
Teplota	°C	718	723	747
O ₂	obj. % v SS	6,15	6,10	6,06
CO	ppm	10	7	4
NO - přibližné hodnoty	ppm	62	80	93
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	0	0	0
SO ₂	ppm	-	-	-
Chování plamene				
Viditelný průměr plamene	m	0,50	0,60	0,40
Viditelná délka plamene	m	3,00	2,50	2,50
Úkap paliva v komoře	-	A	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	A	A	A

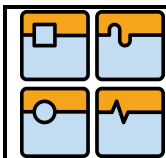
Tab. 7 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 60 kg/h (ELTO)

Atomizér TTO				
6% O ₂ v suchých spalínách - analyzátor - 18.3.2010		Palivo: ELTO		
Veličina	Jednotka	GLR 25 %	GLR 30 %	GLR 40 %
Hustota	kg/m ³	836,90		
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	87,13	86,92	87,20
Teplota	°C	29,2	28,8	30,2
Přetlak před hořákem	bar	3,59	4,02	4,70
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	22,32	26,62	35,54
Teplota	°C	21,1	21,1	21,3
Přetlak před hořákem	bar	4,17	5,20	6,97
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru				
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	66	58	50
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg	11,19	11,19	11,19
Teplota	°C	12,8	12,8	13,0
Spaliny - měřené hodnoty				
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-80	-77	-79
Teplota	°C	816	820	842
O ₂	obj. % v SS	6,03	6,06	6,11
CO	ppm	4	3	4
NO - přibližné hodnoty	ppm	83	92	106
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	1	0	1
SO ₂	ppm	-	-	-
Chování plamene				
Viditelný průměr plamene	m	0,50	0,40	0,40
Viditelná délka plamene	m	3,00	2,50	2,50
Ukap paliva v komoře	-	N	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	A	A	A

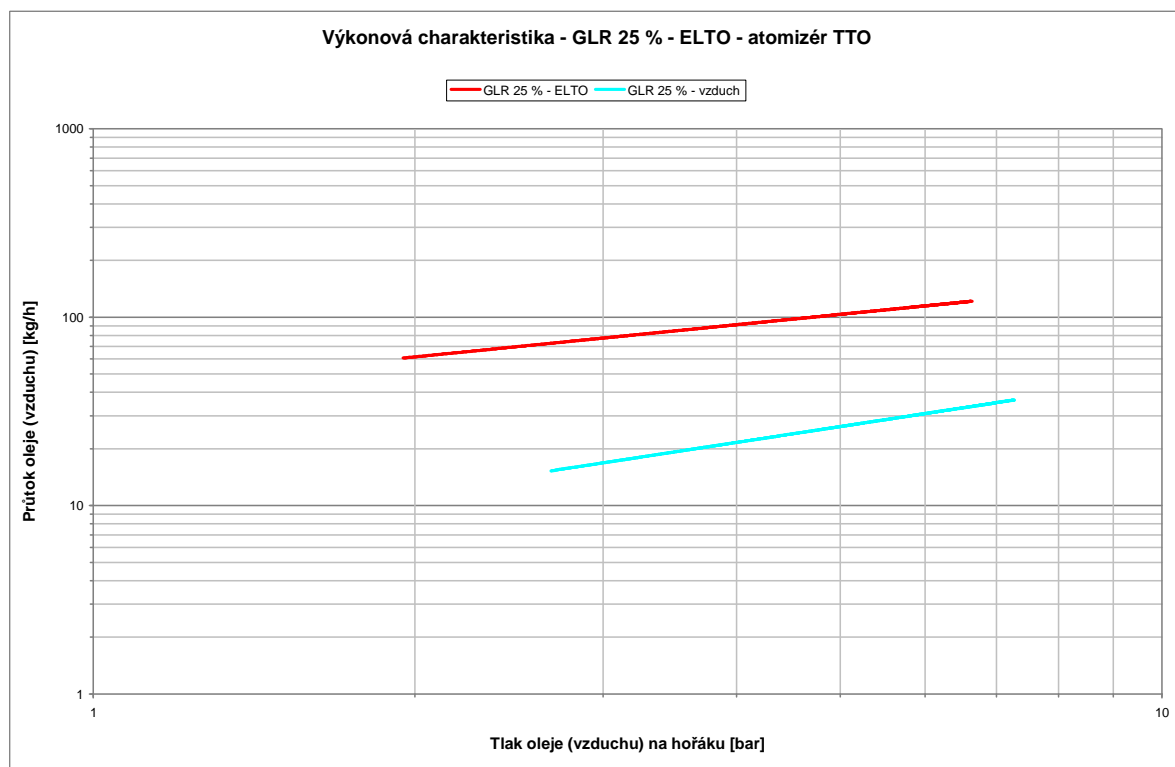
Tab. 8 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 90 kg/h (ELTO)

Atomizér TTO				
6% O ₂ v suchých spalínách - analyzátor - 18.3.2010		Palivo: ELTO		
Veličina	Jednotka	GLR 25 %	GLR 30 %	GLR 40 %
Hustota	kg/m ³	836,90		
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	120,59	121,34	119,82
Teplota	°C	31,8	33,4	34,4
Přetlak před hořákem	bar	6,63	6,63	7,35
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	36,47	36,39	45,89
Teplota	°C	21,7	22,2	22,4
Přetlak před hořákem	bar	7,27	7,26	9,14
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru				
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	252	237	207
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg	11,19	11,19	11,19
Teplota	°C	16,1	16,4	16,5
Spaliny - měřené hodnoty				
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-33	-23	-58
Teplota	°C	908	926	938
O ₂	obj. % v SS	6,48	6,21	6,19
CO	ppm	5	4	3
NO - přibližné hodnoty	ppm	100	102	108
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	2	3	4
SO ₂	ppm	-	-	-
Chování plamene				
Viditelný průměr plamene	m	0,50	0,50	0,50
Viditelná délka plamene	m	3,00	2,50	2,50
Úkap paliva v komoře	-	N	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	A	A	A

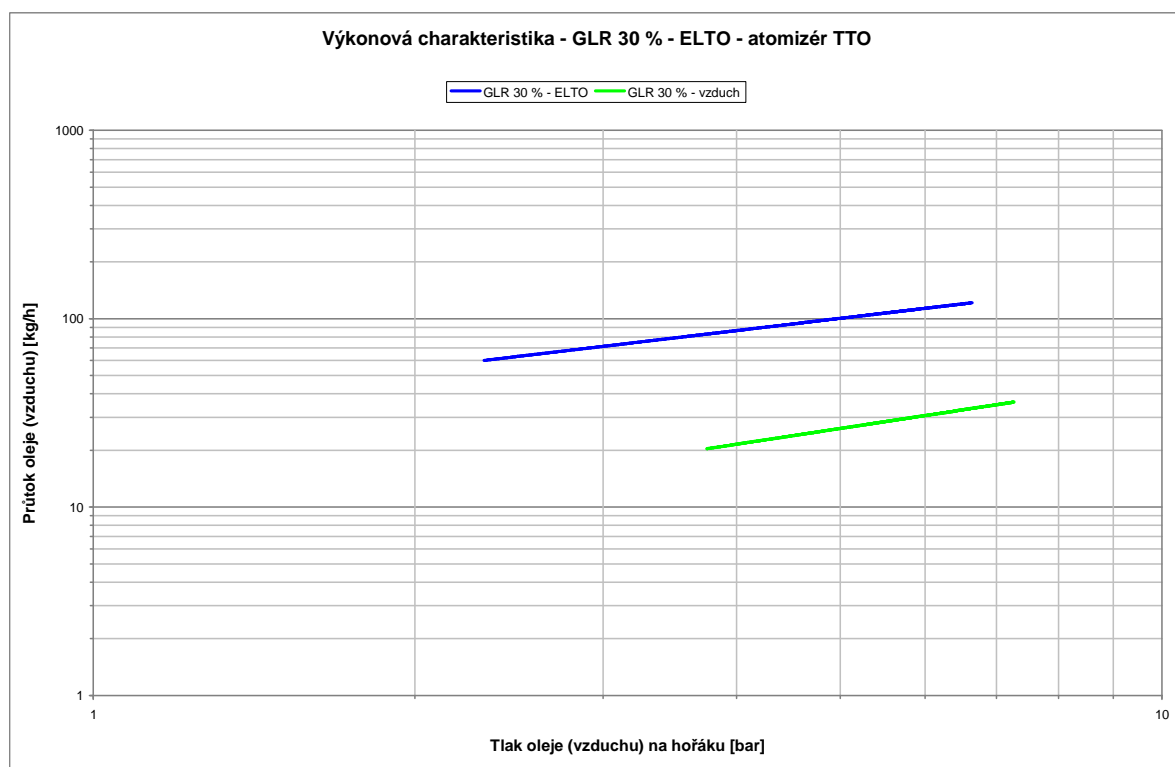
Tab. 9 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 121 kg/h (ELTO)



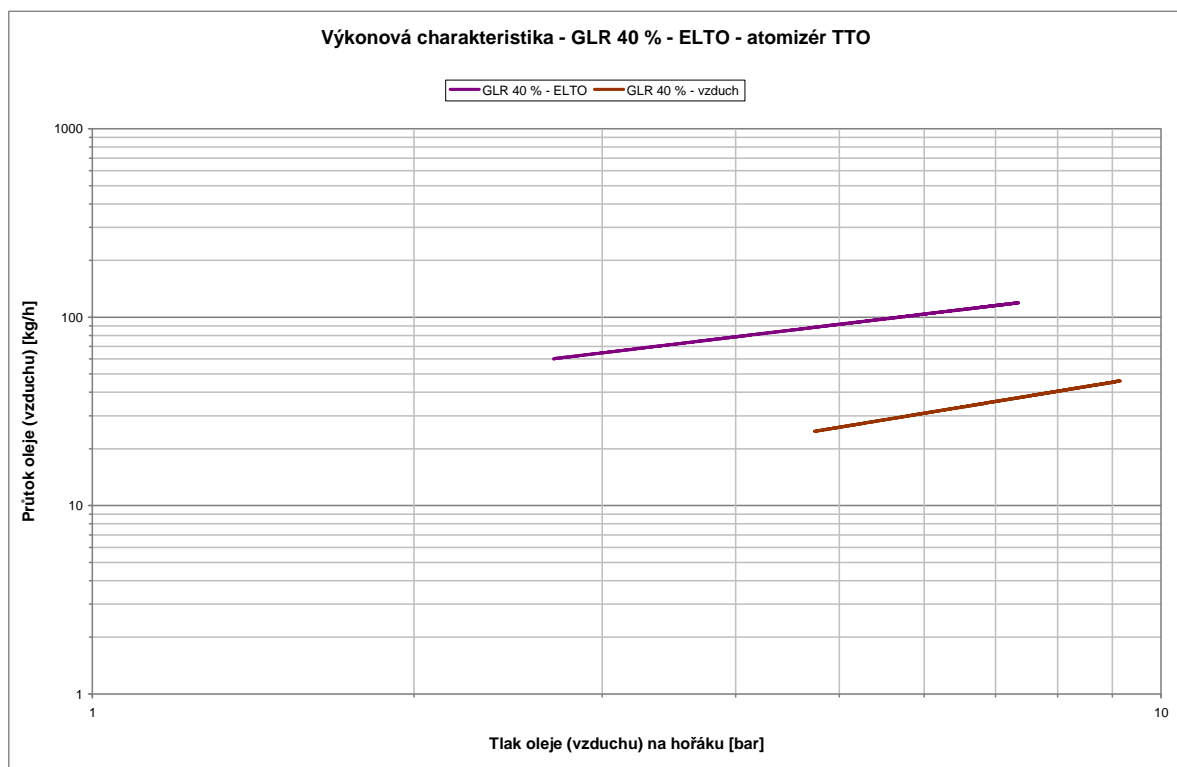
DIPLOMOVÁ PRÁCE



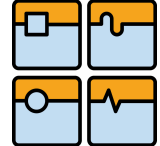
Obr. 8.4 Výkonová charakteristika atomizéru TTO při GLR 25 % (ELTO)



Obr. 8.5 Výkonová charakteristika atomizéru TTO při GLR 30 % (ELTO)



Obr. 8.6 Výkonová charakteristika atomizéru TTO při GLR 40 % (ELTO)

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 62
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

8.2.3 Atomizér TTO – palivo LCO

Bylo provedeno odvzdušnění komory a její přehřev. Před zkouškou atomizéru TTO, byl s lehkým cyklovým olejem odzkoušen effervescentní atomizér. Zkouška probíhala 2 hodiny, poté byl atomizér demontován a byla provedena kontrola trysky. Výstupní otvor trysky byl čistý bez viditelných nečistot. Atomizér byl znečištěn pouze spáleným palivem.

Po provedení této zkoušky byla zahájena zkouška s atomizérem TTO a lehkým cyklovým olejem. Palivo bylo přehříváno na cca 53 °C, aby bylo docíleno dostatečného rozprášení.

Byly nastavovány GLR 20 %, 25 %, 30 % a 40 % při průtocích oleje 79 kg/h, 100 kg/h a 120 kg/h. Základní nastavení GLR 40 % při průtoku oleje 79 kg/h, nastaven průtok vzduchu na cca 6 % přebytku O_2 v suchých spalínách. Během zkoušky byla pozorována délka a průměr plamene, jeho stabilita a kvalita spalování. Díky obsahu síry v palivu byl na analyzátoru kontrolován i obsah SO_2 ve spalínách.

Při průtoku oleje 79 kg/h a GLR 40 % pozorován slabý úkap LCO, plamen stabilní, bez pulsací. Při 79 kg/h a GLR 20 % byl plamen nestabilní, silně kouřil a jeho průměr byl přibližně stejný jako průměr komory (toto nastavení je nepoužitelné). Při 79 kg/h a GLR 25 % měl plamen podstatně lepší vlastnosti než při GLR 20 %. Při 100 kg/h a GLR 20 % pozorováno horší spalování. Při GLR 25 % a 100 kg/h lepší spalování než při GLR 20 %. Při 120 kg/h a GLR 20 % plamen nestabilní a pozorováno usazování nespáleného paliva na dně komory. Při 120 kg/h a GLR 25 % výrazně lepší chování plamene, nebyl pozorován úkap paliva do komory.

Při této zkoušce bylo zjištěno, že při uvedených průtocích paliva je minimální použitelné GLR 25 %. Nižší GLR je prakticky nepoužitelné. Zkouška byla pouze vizuální a data nebyla zaznamenávána. Obsah SO_2 se během zkoušky pohyboval mezi 330 a 360 ppm.

8.2.4 Effervescentní atomizér – palivo ŘO

Poslední zkouška byla provedena s effervescentním atomizérem a řepkovým olejem. Řepkový olej bylo nutno přehřívát na teplotu cca 70 °C, dále byl přehříván tlakový vzduch na cca 95 °C, ohříváčem připojeným před hořák. V níže uvedených tabulkách je teplota paliva, která je zaznamenávána v okruhu před ohříváčem, a z tohoto důvodu je výrazně nižší než uvedených 95 °C před hořákem. Olej byl přehříván ve vozíku na těžké topné oleje. Byl nastaven průtok oleje na 50,5 kg/h a průtok tlakového vzduchu na 7,7 kg/h (GLR 15 %). Palivo bylo zapáleno pomocí primárního, sekundárního a stabilizačního hořáku. Poté byla primární a sekundární část uzavřena. Uzavřen byl i přívod paliva do hořáku, následně byl přívod paliva otevřen a byl odzkoušen zapálení řepkového oleje pouze stabilizačním hořákem. Bylo zjištěno, že řepkový olej lze při tomto nastavení zapálit pouze stabilizačním hořákem. Plamen byl stabilní, bez pulsací. Následovala kontrola zanesení trysky. Tryska byla čistá bez viditelných nečistot.

Při nastavení GLR 15 % při průtoku 60 kg/h, obsah O_2 5 % v suchých spalínách. Při tomto nastavení bylo zjištěno, že dochází k oddělování paliva od tlakového vzduchu a plamen se v důsledku toho „ohýbá“ směrem ke dnu komory.

Základní nastavení GLR 20 % při průtoku oleje 60 kg/h, nastaven spalovací vzduch na 6 % přebytku O_2 v suchých spalínách. Po ustálení spalování a potřebných

veličin, provedeno 5 měření (na povel operátora) v časovém intervalu 30 sekund. Stejně jako u předchozích zkoušek byla zaznamenána délka a průměr plamene, jeho stabilita a kvalita spalování. Nastavení a záznam dalších GLR probíhalo stejným způsobem. Výsledky jsou zaznamenány v tabulkách 10 – 12. Průtoky a tlak oleje (vzduchu) na hořáku jsou zaneseny v grafech (viz obr. 8.7 – 8.9).

Plamen byl při většině průtoků stabilní s mírným sklonem ke dnu komory. Pouze při průtoku 40 kg/h a GLR 10 % docházelo ke špatnému spalování a k usazování nespáleného paliva na dně komory.

Effervescentní atomizér				
6% O ₂ v suchých spalínách - analyzátor - 1.4.2010		Palivo: RO		
Veličina	Jednotka	GLR 10 %	GLR 15 %	GLR 20 %
Hustota	kg/m ³	865,00		
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	40,43	40,62	41,00
Teplota	°C	70,8	71,3	71,6
Přetlak před hořákem	bar	2,10	3,22	4,26
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	4,06	6,21	8,28
Teplota	°C	20,6	20,6	20,5
Přetlak před hořákem	bar	1,82	2,98	4,06
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru				
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	-110	-95	-94
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg	9,91	9,91	9,91
Teplota	°C	16,9	16,4	15,9
Spaliny - měřené hodnoty				
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-99	-107	-114
Teplota	°C	662	661	664
O ₂	obj. % v SS	6,09	4,81	4,81
CO	ppm	40	15	6
NO - přibližné hodnoty	ppm	56	71	79
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	8	1	0
SO ₂	ppm	-	-	-
Chování plamene				
Viditelný průměr plamene	m	0,30	0,30	0,20
Viditelná délka plamene	m	2,00	2,25	2,00
Úkap paliva v komoře	-	A	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	A	A	A

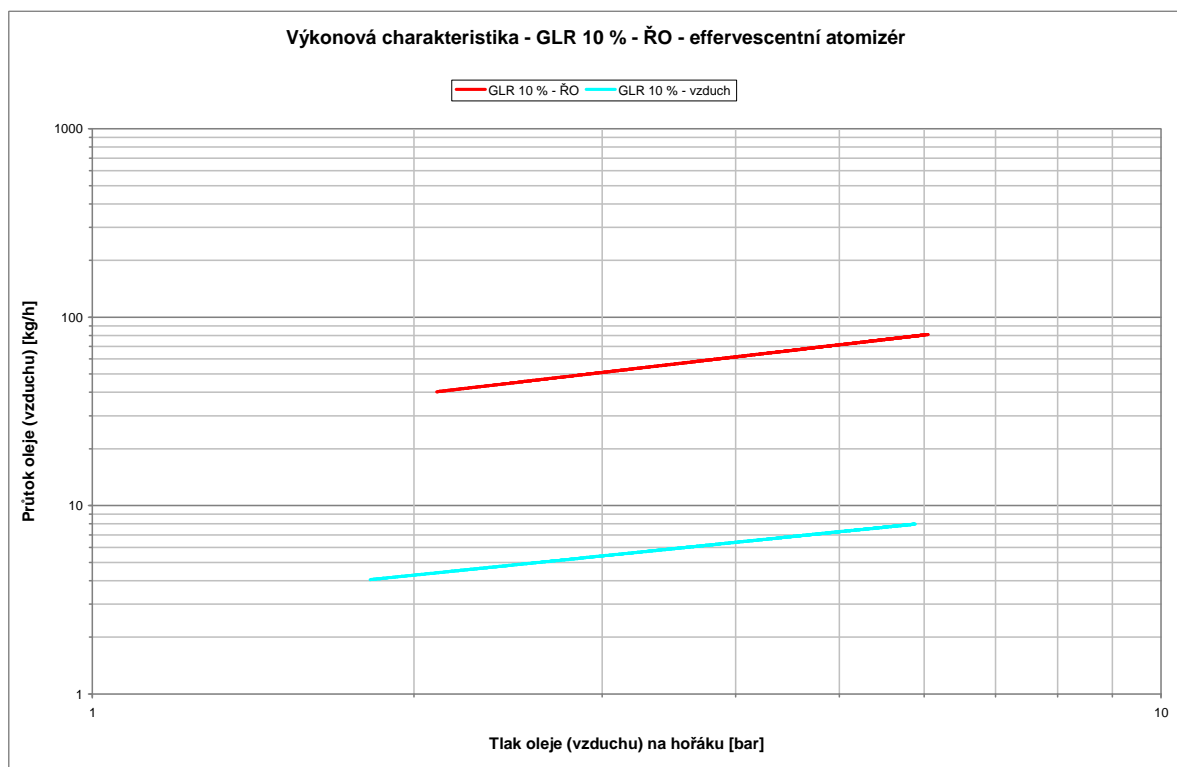
Tab. 10 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 40 kg/h (RO)

Effervescentní atomizér					
6% O ₂ v suchých spalínách - analyzátor - 1.4.2010		Palivo: ŘO			
Veličina	Jednotka	GLR 10 %	GLR 15 %	GLR 20 %	GLR 25 %
Hustota	kg/m ³	865,00			
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty					
Průtok	kg/h	61,09	60,64	59,92	61,36
Teplota	°C	72,9	73,0	71,7	72,9
Přetlak před hořákem	bar	4,03	5,64	6,81	8,16
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty					
Průtok	kg/h	6,16	9,01	11,99	15,28
Teplota	°C	19,9	19,9	19,7	19,9
Přetlak před hořákem	bar	3,81	5,49	6,71	8,10
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru					
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	-39	-51	-69	-62
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg		9,91	9,91	9,91
Teplota	°C	15,4	14,7	14,3	14,9
Spaliny - měřené hodnoty					
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-107	-110	-98	-111
Teplota	°C	740	721	710	721
O ₂	obj. % v SS	5,19	5,08	5,25	4,88
CO	ppm	9	8	6	8
NO - přibližné hodnoty	ppm	70	83	87	92
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	0	0	0	0
SO ₂	ppm	-	-	-	-
Chování plamene					
Viditelný průměr plamene	m	0,40	0,30	0,20	0,30
Viditelná délka plamene	m	2,50	2,50	2,00	2,25
Úkap paliva v komoře	-	N	N	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	A	A	A	A

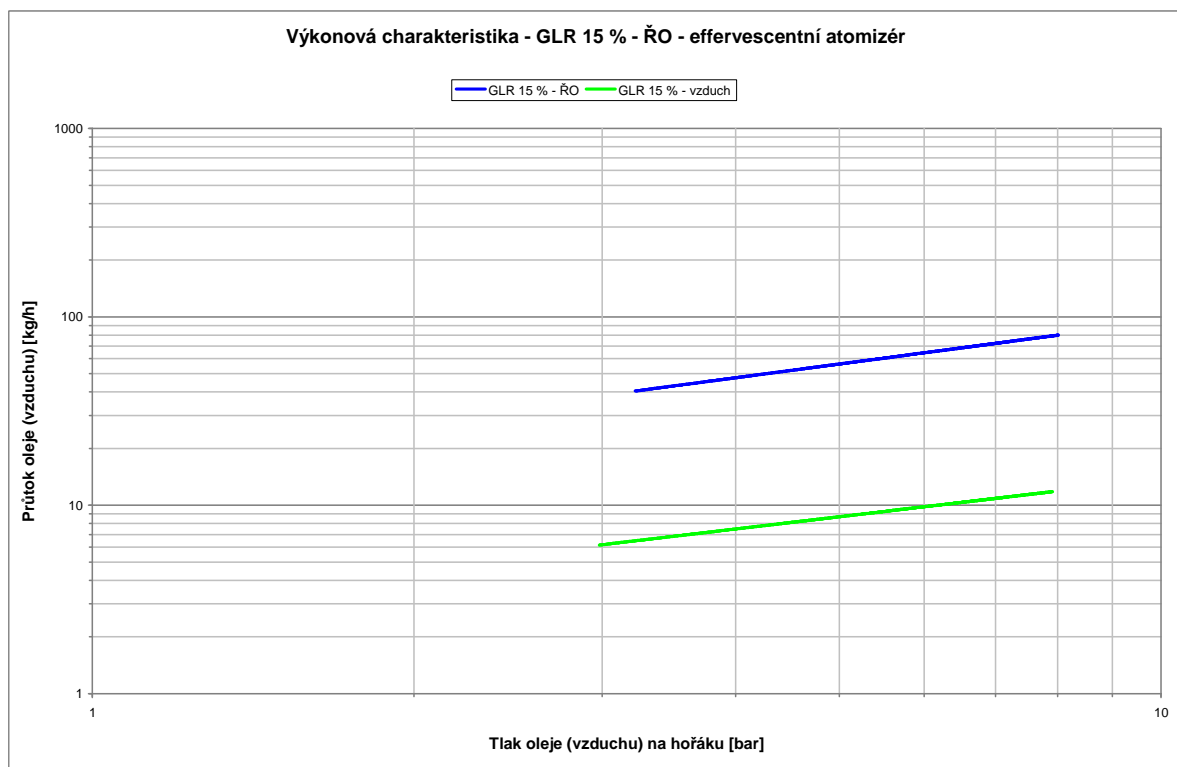
Tab. 11 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 60 kg/h (ŘO)

Effervescentní atomizér				
6% O ₂ v suchých spalínách - analyzátor - 1.4.2010		Palivo: ŘO		
Veličina	Jednotka	GLR 10 %	GLR 15 %	GLR 20 %
Hustota	kg/m ³	865,00		
Spalovaná kapalina - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	81,62	80,81	81,16
Teplota	°C	72,4	73,0	73,4
Přetlak před hořákem	bar	6,05	8,01	9,24
Tlakový vzduch - nastavené hodnoty				
Průtok	kg/h	8,02	12,00	14,77
Teplota	°C	20,4	20,3	20,1
Přetlak před hořákem	bar	5,88	7,90	9,18
Spalovací vzduch - nastavené hodnoty podle analyzátoru				
Tlak před hořákem vůči okolí	Pa	-11	-2	0
Stechiometrická spotřeba vzduchu na 1 kg paliva	m _N ³ /kg	9,91	9,91	9,91
Teplota	°C	16,3	15,3	15,3
Spaliny - měřené hodnoty				
Tlak ve spalovací komoře vůči okolí	Pa	-111	-89	-95
Teplota	°C	820	812	800
O ₂	obj. % v SS	4,72	4,98	5,08
CO	ppm	6	6	10
NO - přibližné hodnoty	ppm	79	87	91
NO ₂ - přibližné hodnoty	ppm	0	0	0
SO ₂	ppm	-	-	-
Chování plamene				
Viditelný průměr plamene	m	0,30	0,30	0,30
Viditelná délka plamene	m	2,50	2,50	2,25
Úkap paliva v komoře	-	N	N	N
Stabilita spalování bez stabilizačního hořáku	-	A	A	A

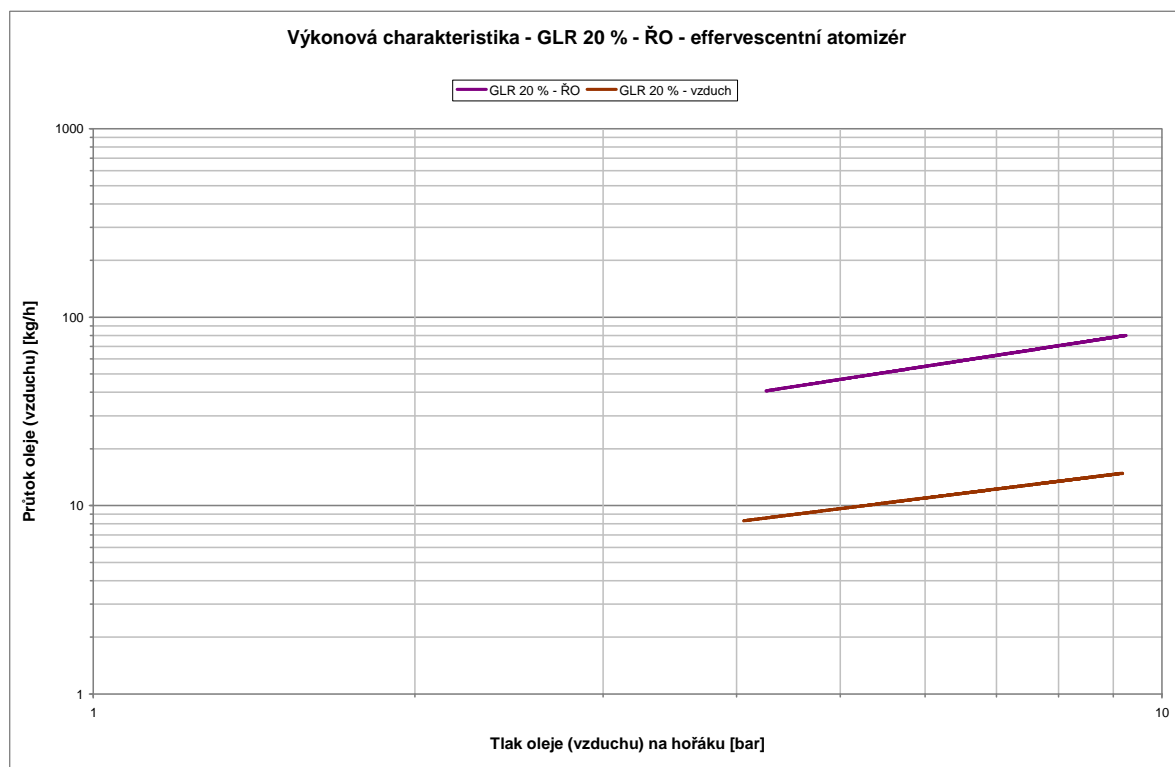
Tab. 12 Nastavené a naměřené hodnoty při průtoku paliva 80 kg/h (ŘO)



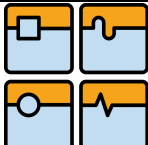
Obr. 8.7 Výkonová charakteristika effervescentního atomizéru při GLR 10 % (ŘO)



Obr. 8.8 Výkonová charakteristika effervescentního atomizéru při GLR 15 % (ŘO)



Obr. 8.9 Výkonová charakteristika effervescentního atomizéru při GLR 20 % (ŘO)

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 67
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

9 Závěr

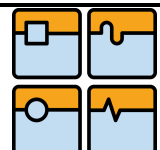
V teoretické části této práce je proveden rozbor používaných paliv a vliv jejich základních vlastností na kvalitu rozprašování. Byl zde popsán princip a základní způsoby rozprašování a některé druhy atomizérů. Dále zde byly ukázány některé oblasti použití atomizérů.

V praktické části byl zevrubně popsán plán zkoušek. Dále je popsána zkušební laboratoř a její hlavní zařízení. Následuje popis použitého hořáku, jednotlivých zkoušených atomizérů, u kterých byly zjišťovány jejich charakteristiky, zkoušených paliv a jejich vlastností. Praktická část je zakončena popisem průběhu jednotlivých zkoušek a jednoduchým hodnocením atomizérů při daných nastaveních s jednotlivými palivy.

Zaznamenané výsledky měření a jednotlivých pozorování chování plamene jsou uvedeny v tabulkách. Z hodnot průtoků a přetlaků jsou sestaveny výkonové charakteristiky pro jednotlivá geometrická nastavení. Z nich je zřejmý nárůst tlaku oleje před hořákem v závislosti na nastaveném průtoku. Hodnota přetlaku se zvyšuje s postupným zvyšováním množství atomizačního vzduchu na jednotku paliva (se zvyšujícím se GLR), které však ovlivňuje kvalitu atomizace kapaliny a tím i stabilitu plamene a tvorbu emisí znečišťujících látek (především oxidu uhelnatého a oxidů dusíku). U effervescentní trysky nebyl pozorován viditelný rozdíl mezi tlakem paliva a atomizačního média, což odpovídá i údajům uváděným v literatuře. Pneumatický atomizér TTO přibližně vykazoval předpokládané chování dané jeho konstrukcí tzn., že tlak atomizačního vzduchu byl podstatně vyšší než tlak oleje a to v řádu jednotek barů.

Vizuálním pozorováním plamene bylo možné stanovit základní rozměry viditelného plamene a jeho chování, které není možné zjistit z naměřených dat. Jedná se především o stabilitu plamene, která je silně závislá na geometrické konfiguraci atomizéru a použitém palivu. Při spalování řepkového oleje byla pozorována nestabilita plamene a případné jeho vzdálení od rozprašovací hlavy, pokud byl vypnut stabilizační hořák spalující zemní plyn.

Závěrem této práce je možné konstatovat, že pro určení chování atomizérů při spalování nestandardních paliv (např. řepkový olej) by bylo potřeba zkoušky opakovat a případně provést konstrukční zásahy do vnitřní geometrie atomizérů. U zásahů do geometrie by se jednalo především o takové vnitřní úpravy, které by stabilizovaly výstupní kužel spreje a zlepšily atomizaci, což by umožnilo snížit množství potřebného atomizačního vzduchu.

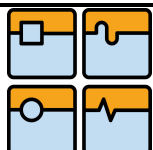
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 68
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam použité literatury

- [1] Lefebvre, A. H., *Atomization and Sprays*, CRC Press, 1989, ISBN 0-89116-603-3
- [2] Bayvel, L., Orzechowski, Z., *Liquid Atomization*, Taylor & Francis, 1993, ISBN 0-89116-959-8
- [3] Baukal, C. E., *Industrial Burners Handbook*, CRC Press LLC, 2003, ISBN 0-8493-1386-4
- [4] Borman, G. L., Ragland, K. W., *Combustion Engineering*, McGraw-Hill, 1998, ISBN 0-07-006567-5
- [5] Šob, F., *Hydromechanika*, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 238 s., 2002, ISBN 80-214-2037-5
- [6] Medek, J., *Hydraulické Pochody*, 4.vydání, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 339 s., 2004, ISBN 80-214-2640-3
- [7] Beneš, M. a kolektiv, *Plynárenská příručka*, GAS Praha, 1192 s., 1997, ISBN 80-902339-6-1
- [8] Petroleum.cz, *Topné oleje*, Praha, [cit. 15.5.2010], dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/topne-oleje.aspx>

Seznam použitých zkratk a symbolů

ρ	kg.m^{-3}	hustota
τ	N.m^{-2}	smykové napětí
η	Pa.s	dynamická viskozita
ν	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$	kinematická viskozita
σ	$\text{N.m}^{-1}, \text{J.m}^{-1}$	povrchové napětí
\dot{Q}_G	kg/h	hmotnostní průtok plynu
\dot{Q}_L	kg/h	hmotnostní průtok kapaliny
GLR	%	poměr hmotnostních průtoků plynu a kapaliny

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 70
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam příloh

Příloha 1	Hlavní technologické schéma
Příloha 2	Technologické schéma – dávkování oleje
Příloha 3	Technologické schéma ASŘTP
Příloha 4	Fotodokumentace
Příloha 5	Fotodokumentace
Příloha 6	Fotodokumentace
Příloha 7	Fotodokumentace
Příloha 8	Fotodokumentace
Příloha 9	Fotodokumentace